

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. A. Kröncke

Zur Entwicklung der zahnärztlichen Bohrantriebe seit Morrison

Eine medizin-historisch-technische Betrachtung
im Rahmen der allgemeinen technischen Entwicklung

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Michael Reich
aus Ostrowo

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. A. Kröncke

Zur Entwicklung der zahnärztlichen Bohrantriebe seit Morrison

Eine medizin-historisch-technische Betrachtung
im Rahmen der allgemeinen technischen Entwicklung

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Michael Reich
aus Ostrowo

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten

Referent: Prof. Dr. A. Kröncke

Tag der mündlichen Prüfung: 28.01.1980

Inhaltsverzeichnis

I.	Vorwort	2
II.	Ziele und Forderungen an die technische Entwicklung	4
III.	Chronologische Übersicht	6
IV.	Übersicht Technische Meilensteine	7
V.	Hauptteil	11
	1. Die Zeit bis Morrison	11
	2. Morrison-Fußtrittbohrmaschine	18
	3. Zwischenkapitel: Entwicklungs- Übersicht der industriellen Technik	30
	a) Die Elektrifizierung	30
	b) Die spezielle Stromversorgung der elektrischen Bohrmaschine	32
	c) Meß- und Fertigungstechnik	35
	d) Wälzlager	39
	e) Elektromotor* (allgemein)	41
	4. Der elektromagnetische Bohrantrieb	44
	5. Andere Antriebe	70
	a) Wasser	70
	b) Luft	75
	c) Sonstige	80
	Hand, Sandstrahl, Ultraschall, Laser	
VI.	Schlußbetrachtung	87
	Erreichte und nicht verwirklichte Forderungen	
VII.	1. Literatur-Verzeichnis	90
	2. Abbildungsnachweis	105

I. Vorwort

Die Verwirklichung der Forderungen der zahnärztlichen Praxis (s. II. Ziele) wurde erst nach und nach durch neue technische Errungenschaften ermöglicht und ging mit diesen Hand in Hand. Es kam auch vor, daß in der Technik Fortschritte und Entwicklungen stattfanden, die nicht gleich Eingang in die Zahnheilkunde fanden und erst eine Weile später wie aus einem überlaufenden Gefäß in ein bereitstehendes Vakuum eindrangen und eine stürmische Weiterentwicklung in der Zahnmedizin in technischer, aber auch als Folge hiervon, in medizinischer Hinsicht verursachten. Hieraus erklärt sich auch, daß oft ein Nebeneinander der verschiedensten Entwicklungsstadien bestand, bis sich die sich besser bewährenden Geräte durchgesetzt hatten.

Als Beispiel:

Noch 1922 arbeiteten Zahnärzte mit der Fußtrittbohrmaschine, während andere bereits mehr als 20 Jahre lang elektrisch angetriebene Bohrmaschinen verwendeten. 185)

Oft lag es an der Person, die eine Neuerung einführte, wie sie diese Neuerung zu "verkaufen" verstand, ob ein Erfolg oder Rückschlag den Einzug der Technik beeinflusste. Aber auch Mißgeschicke, wie z.B. elektrische Schläge aus Unkenntnis oder Unvorsichtigkeit am Patienten, am Behandler selbst oder mangelnde Bedienungsanweisung entschieden über

den früheren oder späteren Einsatz von eindeutig besseren technischen Lösungen in der Zahnmedizin.

Heute selbstverständliche Forderungen, wie Einhandbedienung, beliebig langer Arbeitszyklus oder einsinnige, wählbare Drehrichtung waren noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts als utopisch anzusehen, so daß mit dem Einsetzen von "Fremdantrieben" (sei es elektrische, pneumatische, wasserangetriebene Krafterzeugung - und auch den Fußantrieb möchte ich hierzu zählen -) der eigentliche Beginn des maschinellen Zeitalters in der zahnärztlichen Bohrmaschinenentwicklung zu sehen ist.

Allgemein ist zu dieser Arbeit zu sagen, daß es zwar schon einige Abhandlungen (z.B. 143, 153, 159, 184) und Dissertationen (z.B. 17, 69, 113) über eine ähnliche Themenstellung oder Teiluntersuchungen hierüber gibt. Jedoch fehlen zum einen meist die neueren Entwicklungen der letzten 15 Jahre, zum anderen eine hinreichende Berücksichtigung des technischen Aspektes und der allgemeinen technischen Entwicklung. Auf diese beiden letzten Punkte soll hier wesentlich mit-
eingegangen werden.

II. Ziele

Allgemeine Ziele, die durch die technische Entwicklung der zahnärztlichen Bohrmaschine verwirklicht werden sollten:

Diese Ziele werden bestimmt durch die Anforderungen, die aus der zahnärztlichen Sicht an ein solches Werkzeug gestellt werden:

A. Formgebung

1. Handlichkeit

- a) keine störenden Anschlußkabel, Gestänge o.ä.
- b) leichte Handhabung, d.h. das Gewicht soll nicht das gefühlvolle Arbeiten einschränken
- c) handgerechte, besser "fingergerechte" Ausführung (ermüdungsfreies Halten soll möglich sein)
- d) Schwerpunkt innerhalb der Halteflächen, um gefühlvolles Arbeiten zu ermöglichen

2. Übersichtlichkeit

- a) klein, d.h. ohne Einschränkung der Sichtverhältnisse am Arbeitsort
- b) auch schwierig liegende Kavitäten bei ungünstigen Platzverhältnissen "leicht" zu erreichen

B. Technik

1. Regelbarkeit

- a) Stillstand und höchste Drehzahl sollen "kurzfristig" erreichbar sein
- b) so umfassend, daß je nach Anforderung mit verschiedenen Werkzeugen optimal gearbeitet werden kann. Der Drehzahlbereich soll ohne Handstückwechsel sowohl die Schmelzbearbeitung mit Diamantschleifsteinchen (100 000 bis 400 000 U/min) als auch die Wurzelfüllung mittels Lentulo (120 - 600 U/min) oder die Entfernung erweichten Dentins mit dem Rosenbohrer (600 - 1 200 U/min) ermöglichen

- 2. spielfreie Lagerung und möglichst kleine Massen, um Unwucht möglichst zu vermeiden (unangenehmes Gefühl und Schmerz des Patienten verringern)
- 3. sicherer und einfacher Werkzeugwechsel (Werkzeugspannung)
- 4. Wartungsfreiheit
- 5. geringe Geräuscentwicklung
- 6. benötigtes Drehmoment soll am Ort des Materialabtrags voll zur Verfügung stehen (Drehzahlkonstanz)
- 7. im Zusammenwirken mit dem eingesetzten Werkzeug soll eine definierte Materialabnahme, leicht dosierbar bezüglich Ort und Menge, möglich sein.

III. Chronologische Übersicht der Bohrmaschinenentwicklung *

100 n. Chr.	Trepan des Archigenes
1700	Cornelius Solingen: Bohreransätze, rotiert zwischen Daumen und Zeige- finger (Kugelbohrer)
<u>1790</u>	Fußtrittbohrmaschine von J. Greenwood
1803	"Krafttransport" durch Lautenschläger
1848	Fiedelbohrer Joseph Linderer
1856	Elektromotor nach Green (Vorläufer des Mikromotors)
1864	Uhrwerkbohrmaschine von Harrington
1865	Katalog Firma Ash & Sons: Trepane
1868	Pneumatische Bohrmaschine nach Green (Vorläufer der Luftturbine)
<u>1871</u>	Patent von J.B. Morrison Fußtrittbohrmaschine
1883	Elektromotor + biegsame Welle Prof. Griscome Washington
1887	Bericht des Erlanger Hofzahnarztes F. Schneider in Berlin über elektri- sche Bohrmaschinen (Tagung Zentral- Verein Deutscher Zahnärzte)

* Quellenangaben siehe im Text

1948	Luftturbine nach Ivar Norlen
1950	Sandstrahlgebläse
1952	Miniaturwasserturbine nach Nelson
1955	Ultraschallgerät Cavitron
1957	Borden Airotor
1958	Deutsche Miniaturturbinen, kugelgelagert
1965	Mikromotor
1977 ?	Kleinstantriebsmotor direkt im Winkelkopf?

IV. Übersicht: Technische Meilensteine

1. Fremdantrieb - Fuß

1790	Fußantrieb Greenwood, John
1871	Fußtrittbohrmaschine Morrison

2. Fremdantrieb - Elektro

1834	Elektromotor allgemein Jacobi
1856	Elektromotor Green , G.F.
1875	Morrisons Maschine mit ange- bautem Nähmaschinenmotor
1883	Griscome: Elektromotor - biegsame Welle

1886	Elektromotor - Doppel-T-Anker
1891	Grammescher Ringanker
1897	Trommelanker
1907	Doriot-Gestänge
1922	Schnellaufmotor n. Huet, E. bis 15000 U/min
1950	Schnellauf-Handstücke bis 200 000 U/min
1965	Mikromotor (Durchmesser 20 mm, Länge 60 mm) 4000 bis 40000 U/min Motordrehzahl verschiedene Winkelstücke 600 bis 120 000 U/min

3. Fremdantrieb - Luft als Übertragungsmedium

1866	Pneumatische Bohrmaschine Green G.F. (Green's Windrad mit Fußblasebalg)
1890	Luftkolbengetriebene Maschine von Dr. Telschow (Wasserstrahlgebläse)
1932 bis 1937	Gescheiterte Entwicklungen der Luft- turbine (Rheinmetall, Siemens Reiniger)
1948	Ivar Norleen Luftturbine Dentalair
1956	Borden Airotor (300 000 U/min)
1958	Siemens Reiniger Miniaturluftturbine
1965	Luftgelagerte Luftturbine

4. Fremdantrieb - Wasserkraft

- | | |
|------|--|
| 1878 | Wasser-Bohrmaschinen ("Mühlräder")
S.S. White u. C. Ash & Sons |
| 1880 | Freistrahlturbine Pelton, L.A. |
| 1880 | Stopmotion - Handstück |
| 1949 | Kugelgelagerte Wasserbohrmaschine
v. Depot Ehmann / Berlin |
| 1952 | Miniaturnasserturbine Kumpala / Nelson
(National Bureau of Standards / Washington)
60000 U/min (Vorläufer der modernen Luft-
turbine) |

5. Stromversorgung

- | | |
|------------|---|
| 1868 | Leclauché - Element / Taucherbatterie |
| 1885 | Dun'sche Batterie |
| 1883 | Ritter-Akku |
| 1888 | Akkumulator für zahnärztliche Bohrmaschinen |
| 1904 | Wasserturbine mit Generator zur Stromversorgung |
| ab
1882 | öffentliche E-Werke |

6. Werkzeugmaschinen, Meßtechnik u. Wälzlager

- | | |
|------------|---|
| um
1400 | Beginn der Feinmechanik (Kleinhrenteknik) |
| 1500 | Bohr- u. Drehmaschinen n. Leonardo da Vinci |
| 1631 | Schieblehre (0,1 mm) Vernier, P. |

1769	Bronzekugellager - Petersburg
um 1845	Normung u. Messen Whitworth
1848	Mikrometerschraube J. Palmer (0,01 mm)
1864	patentiertes Konuslager (Fahrradindustrie)
Ende 19. Jahrh.	spezielle Werkzeugmaschinen
1902	Schulterkugellager für Apparatebau u. Elektromotoren
Anfang 20. Jahrh.	Schnellschnittstähle, Hartmetalle
ab 1950	Hochleistungskugellager (Raumfahrt und Instrumente)

7. Sonstige Präparationsmethoden

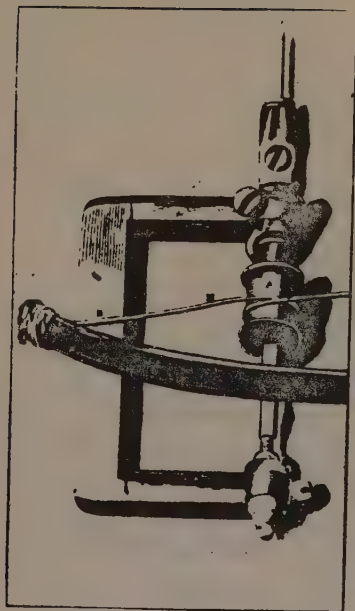
seit 100 n. Chr.	Handinstrumente (Schmelzmesser, Gingivalrandschräger, Exkavator u.a.)
1864	Uhrwerkbohrmaschine von Harrington
1953	Sandstrahlgebläse (S.S. White Airdent Unit)
1955	Cavitron Ultraschallgerät
seit 1964	Experimentelle Versuche der An- wendung von Laserstrahlen

V. Hauptteil

V. 1. Die Zeit bis Morrison

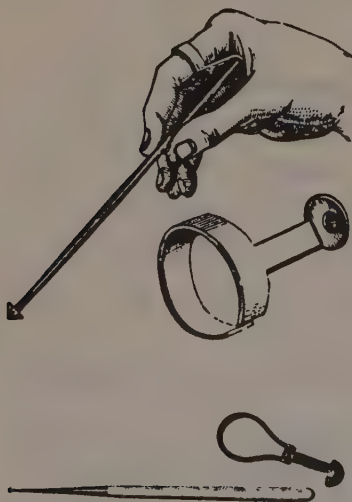
Diese Zeit kann auch als die "Zeit ohne Fremdantrieb" bezeichnet werden, da alle Bohrgeräte bis zur Fußtritt-bohrmaschine den Nachteil hatten, daß Dreh- (oder besser Materialabhubbewegung) und Positionierbewegung ausschließlich durch die Hände bzw. Finger verrichtet wurden. Bei dieser Art der Handhabung des "Fingerbohrers" wurde z.B. eine Verbesserung durch die Einführung eines Schutz- bzw. Lagerringes durch Westcott 1846 ⁶⁴⁾ erzielt. Es handelte sich hierbei um einen Ring, der über den Zeigefinger gestreift gleichzeitig ein Gegenlager für das Ende des Bohrerschaftes bot, während Zeigefingerkuppe und Daumen den Bohrer "zwirbelten". ¹⁵⁹⁾ Das gleichzeitige Achten auf Materialabhub, Positionierbewegung und Antrieb hatte den Nachteil, daß die Präzision der Materialabnahme dadurch erheblich litt und deshalb als weitere Folge der Behandlung eher zu einer Extraktion neigte bzw. gezwungen war.

Zahnärztliche Instrumente aus "bestem Stahl" sollen bereits 5000 v. Chr. in Indien angefertigt worden sein. ¹⁷⁾ Ihre Anwendung ist jedoch nicht eindeutig überliefert, so daß erst 100 n. Chr. dem in Rom wirkenden Arzt Archigenes die Verwendung des Trepan zum Anbohren schmerzender Zähne zugeschrieben wird.



links: Bohrgerät n. Pierre Fauchard,
Paris, 1686 - 1761

"Fiedelbohrer" oder
"Juwelierbogen"



Lagerring nach Westcott 1846



verschiedene Bohrgeräte
vor Morrisons Bohrmaschine

Galenos (129 bis 199 n. Chr. in Pergamon) benutzte die Feile zum Kürzen überstehender Zähne.¹⁸⁾

Anscheinend wurde jedoch zu dieser Zeit bis einschließlich in das späte Mittelalter wenig von der konservierenden Zahnheilkunde gehalten und eher gleich zur Zahnextraktion geschritten, was natürlich auch auf die Schwierigkeiten bei der Bearbeitung des Zahnschmelzes mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zurückzuführen ist.

Zur Verdeutlichung: Schmelz hat eine Vickers-Härte von HV ca. 250 kg/mm².¹¹⁶⁾ Bei der Schwierigkeit der Bearbeitung ist dies fast vergleichbar mit einem qualitativ guten Automatenvergiütungsstahl, den man mit fingerbetätigten Werkzeugen zu zerspanen versucht.

Um 1400 reinigte und erweiterte Pietro de Argelata mittels Excavatoren kariöse Zähne.¹⁹⁾

Ende des 17. Jahrhunderts glättete Cornelius Solingen scharfe Zahnkanten mit Bohreransätzen,⁷⁰⁾ wobei der kugelförmige Bohrer (!) mit Schaft zwischen Daumen und Zeigefinger rotierte.

Fauchard benutzte zur Herstellung von Zahnersatz 1728 einen mit einem Fiedelbogen angetriebenen Bohrer, jedoch trepanierte er Zähne mit Grabstichel und Eisenbohrer, die er aber nach wie vor mit der Hand drehte.^{49/147)}

Immerhin eine Idee der Verbesserung, die später in allen weiteren Entwicklungen mit benutzt wurde, gelang Heinrich Lautenschläger 1803 mit dem "Krafttransport" in der von dem Mechaniker Luckow gefertigten Bohrmaschine durch Zahnradzwischenräder. Die Drehgeschwindigkeit wurde durch das Verhältnis des ersten auf einer Handkurbel sitzenden und dem vierten, dem Abgabezahnrad, bestimmt.⁸⁰⁾

Auch aus Amerika ist bekannt, daß bereits Handkurbel und "Winkelstück" ähnlich der Maschine von Lautenschläger verwendet wurden.¹⁸⁶⁾ Technisch kann festgestellt werden, daß im 19. Jahrhundert bereits das Prinzip des Winkelstücks, d.h. der Kraftumlenkung und der Kraftweiterleitung vom Entstehungsort zum Abtragungsort am Zahn bekannt war und angewandt wurde.

Das Wesentliche aber, nämlich die Schnittkraftherzeugung von den Händen wegzunehmen und diese ganz der Führung der Schnittwerkzeuge zu widmen, war noch nicht durchgedrungen. Es gab zwar schon verschiedene Ansätze, die sich jedoch nicht durchsetzten. All diese Maschinen scheiterten teils an der mangelnden Ausführung, teils an der geringen Beachtung, die sie bei den Zahnärzten fanden.

Lautenschlägers Bohrinstrument war nur eingesteckt, so daß es bei Rücknahme des Gerätes im Zahn stecken blieb. Außerdem ließ die Übersichtlichkeit durch die damals technisch notwendige Größe zu wünschen übrig.²²⁾

Die vier wichtigsten Ausführungen, die alle zu späterer Zeit im Laufe der technischen Entwicklung in verbesserter Form wieder erscheinen sollten, seien hier beispielhaft aufgeführt:

1. 1790 verwendete der Zahnarzt George Washington's John Greenwood bereits eine Fußtrittbohrmaschine, die aus einem Spinnrad gefertigt war. Sein Sohn Isaac John Greenwood benutzte diese Maschine auch weiter,⁵⁸⁾ achtzig Jahre bevor Morrison seine Fußtrittbohrmaschine patentieren ließ.
2. 1864 ließ George Fellows Harrington in England eine uhrwerkgetriebene Bohrmaschine 'Erado' patentieren.⁷⁵⁾

Im Korrespondenzblatt für Zahnärzte 1872, S. 14, wird hierüber ausführlich berichtet:

"Der Erfinder: ... soll diese Maschine den Handbohrer ersetzen und übertreffen. In 10 Minuten

könne er soviel damit ausführen wie mit dem Handbohrer in einer Stunde, außerdem mit weniger Unbequemlichkeit sowohl für Patienten als auch für den Behandler. Das Prinzip ist ihm schon vor 18 Jahren (1854) bekannt geworden, er habe diese Maschine bereits vor 5 Jahren gezeigt. Die Kollegen würden sie nicht wegen des Geräusches verwenden, er habe jedoch keine Beschwerden seitens der Patienten, habe sie dennoch, da die Kollegen den Nutzen haben sollten, in der Geräuscentwicklung wesentlich gebessert.

Vorteile:

- a) Molaren, die kreuzförmig angefressen seien
(hier sei insbesondere häufig herkömmlich
keine einwandfreie Füllung zu erreichen)
- b) Entfernung von Amalgamfüllungen

Mr. Harrington bewies mit einem Experiment, wie leicht und schnell seine Maschine zu handhaben sei. Mr. Fox' Urteil: er habe mehrere Monate die Maschine benutzt, es würde ihm leid tun, sie zu missen."

Allgemein kann jedoch gesagt werden, daß diese Maschine sich durch die umständliche Handhabung - einmal Aufziehen gleich 2 min Lauf, Kontrolle der Drehzahl durch Bremsrad, das mit dem Daumen geregelt wurde, Bohrerwechsel durch

Schrauben, mit Samenöl ölen - nicht durchgesetzt hat. Sie läßt jedoch das Streben nach einem Fremdantrieb recht deutlich werden.

3. 1868 erfand George F. Green eine durch einen Fußblasebalg luftgetriebene Bohrmaschine. Diese kann als Vorläufer der luftgetriebenen Turbinen angesehen werden.⁶⁾
4. Bereits 1856 ¹⁶⁸⁾ soll Green eine elektromagnetische Bohrmaschine entwickelt haben, die er 1871 patentieren ließ.⁶⁰⁾ Diese setzte sich aber aufgrund des Gewicht/Leistungsverhältnisses ebenso wie seine pneumatische Maschine nicht durch (Anm.: Das Handstück seiner pneumatischen Maschine wog über 500 g).¹⁴⁹⁾

Green scheiterte mit seinen Erfindungen an den gegebenen technischen Möglichkeiten. Beide Bohrmaschinen sind praktisch Vorläufer der modernen Geräte: einmal - wie schon erwähnt - der Turbinen und zum anderen des heutigen Mikromotors, bei dem wie bei Green der Elektromotor direkt am Handstück sitzt.

Daß alle diese Lösungen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht befriedigten, läßt sich leicht aus verschiedenen Tatsachen ableiten:

Es wurde noch nach wie vor mittels Handbohrer exkaviert, viele Zahnärzte versuchten, von sich aus Lösungen zu finden, die sich durch die fortgeschrittene Technik anboten, und weil sie mit den herkömmlichen Methoden nicht zufrieden waren.

Seit 1843 verwendete Dr. J. Coghlan einen mittels Stahlachse, Rolle und Darmsaite (gespannt durch eine Spiralfeder) angetriebenen Bohrer.²³⁾

Selbst diese Fiedelbohrer wurden noch 1874 neu vorgestellt, z.B. von G. Mayer, Zahnarzt in Augsburg¹²⁸⁾ (Mayer verwendete allerdings auch eine Morrison "feststehende" Bohrmaschine).

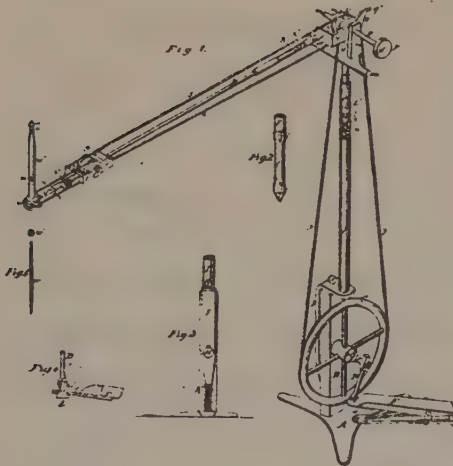
V. 2. Morrison's Fußtrittbohrmaschine 1871

Obwohl John Greenwood bereits 80 Jahre früher die Fußtrittbohrmaschine entwickelt hatte, fand sie keine Verbreitung, bis 1871 James Beall Morrison / St. Louis diese patentieren ließ und sie industriell angefertigt wurde. Es wird behauptet, daß Morrison sowohl durch die Tretnähmaschine⁸¹⁾ als auch durch eine Schafschermaschine⁶¹⁾, patentiert 1866 von A.H. Kennedy in Brunswick/Ohio, oder durch das Spinnrad inspiriert wurde. Die Patentschrift vom 7.2.1871 zeigt, daß die ursprüngliche Maschine über Schnurrolle und mehrere Gelenke zur bequemen Handhabung angetrieben wurde.

J. B. MORRISON.
DENTAL ENGINE.

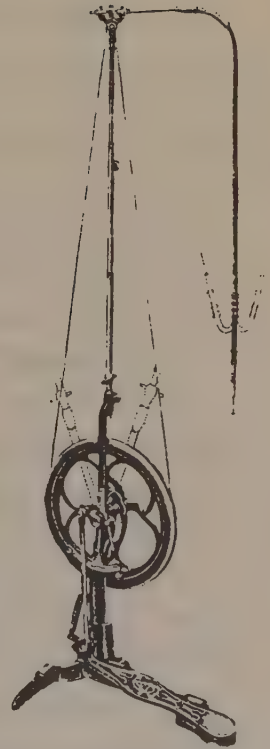
No. 111,667.

Patented Feb. 7, 1871,



WITNESSES
J. B. Morrison
J. B. Morrison

Inventor
James B. Morrison,
By Knight & Bond
Attys.



Morrison's - Fußtrittbohrmaschine (Patentanmeldung)

Abb. 2

Quellennachweis s. S. 105

Die Einführung in Deutschland läßt sich ziemlich gut verfolgen:

Dr. Georg v. Langsdorf gibt im Dezember-Heft des 'Zahnarzt' an, noch keine nähere Beschreibung der Morrison-Maschine erhalten zu können. Ein früherer Schüler Langsdorfs (Dr. J. Machwurth) verspricht, im Frühjahr 1873 eine Maschine aus USA mitzubringen. Am 7. April 1873 führt Prof. Dr. Breslauer in der Gesellschaft für Heilkunde in Berlin die Dr. Morrison Engine vor.³⁹⁾

Die Maschine wurde überall mit Begeisterung aufgenommen. So schrieb das Korrespondenzblatt für Zahnärzte 1873, S. 117 ¹³⁵⁾: Dr. Morrisons Bohrmaschinen (zu haben bei Depot C. Ash & Sons, Berlin). "Wir haben seit langer Zeit nichts mehr so Geniales und Vollkommenes wie Dr. Morrison's Beitrag gehört:

Ein Instrument zur Aushöhlung von Kavitäten, das die Handarbeit ersetzt, wurde erst mit Mißtrauen aufgenommen. Jedoch sorgfältige Untersuchungen bestätigten, das Instrument arbeitet geräuschlos, sicher, mit mechanischer Genauigkeit und weniger Schmerz als ein Exkavator. Es ist unschätzbar zur Herstellung von Kavitäten, zum Polieren und Befeilen von Goldfüllungen, schmaler Fissuren, zum Separieren zweier Zähne in kurzer Zeit. Ersparnis: 1/3 an Zeit, dem Patienten 2/3 der Leiden."

Es folgt eine Beschreibung:

"Die bewegende Kraft besteht aus Tritt und Schwungrad und wird mittels Darm, Seide und Rolle auf den Bohrer übertragen. Jede Stellung kann durch die Spirale und Übertragungsstücke eingenommen werden. Alle Metallteile sind vernickelt, um der Korrosion vorzubeugen. Ein Handstück mit Feder verhindert das Herausfallen der Bohrer." (die Red.)

1873 ¹³⁶). "Seit einiger Zeit ist bei S. Pappenheim / Berlin eine Bohrmaschine nach Morrison, fabriziert von Gebr. Johnson, ausgestellt. Die Maschine ist ca. 1 m hoch, ein Trittbrett setzt ein Schwungrad in Bewegung (Gleichmäßigkeit der Bewegung), weitere Bewegung über zwei Drehstäbe, der zweite waagrecht, jedoch beweglich vom ersten mittels Rollen und Seidenschnüren angetrieben (Größe des Patienten anpaßbar), am Ende dieses zweiten Stabes befindet sich eine Spiralfeder (10 cm lang) mit dem Bohrereinsatz, so daß man die Zähne gut erreichen kann. Für die unteren Zähne gibt es einen rechtwinkligen Einsatz.

Mit wenigen Rotationen durchbohrt man in einigen Augenblicken die Zahnbeinwand eines normalen Schneidezahnes bis zur Pulpa-kavität. Jedoch Vorsicht, da durch die Spiralfeder bei unvorsichtiger Handhabung der Bohrer hin- und hergeschleudert werden kann. Faßt man jedoch den Einsatz mit einer Hand und

setzt die Bohrerspitze mit der anderen Hand sicher und fest gegen den Zahn, so kann der Bohrer mit "größter Präzision" gehandhabt werden.

Ergebnis: Jedenfalls dürfte diese Maschine dem vielbeschäftigten Praktiker die große Mühe des Bohrens ganz wesentlich erleichtern. Einige Kollegen haben die Maschine schon verwendet, jedoch der allgemeinen Einführung setzt sich der enorme Preis von 95 Talern (ein Taler entspricht ca. 3 Mark), incl. 12 Bohrern, einer schnellen Verbreitung entgegen."

Anm.: Ein Stuhl kostet je nach Ausführung mindestens das doppelte.

Da aber anscheinend alle Zahnärzte auf eine derartige Maschine gewartet hatten, verbreitete sie sich doch sehr schnell, und in den entsprechenden Fachzeitschriften konnte man häufig begeisterte Zuschriften lesen.

Laufend kamen auch Verbesserungen bezüglich der Handhabung und der Ausführung zur Veröffentlichung, z.B. auf die Mängelangabe, daß sich Bohrer losschrauben, wurde erwidert, daß dies nur bei falscher Laufrichtung der Fall sei.¹⁸⁷⁾

1877 wurde als Verbesserung von H. Blume / Berlin vorgestellt, daß bei S. Pappenheim / Berlin White'sche Bohrmaschinen mit Schwungrädern von 12 1/2 Zoll Durchmesser

gegenüber der bisherigen 9 1/2 Zoll zu haben sind. Jedoch wurde nicht auf die höhere Drehzahl (bisher ca. 2000 U/min) hingewiesen, sondern daß nur langsamer getreten werden müßte und dadurch mehr Aufmerksamkeit auf die Arbeit verwendet werden könnte.¹³⁾

Bereits 1874 ³³⁾ waren auch die Diskussionen bereits voll im Gange, ob mit Kühlung oder ohne, mit Luft oder Wasser oder einem anderen Kühlmittel (Knochenöl) bei derart "hohen Umdrehungszahlen" gearbeitet werden sollte. Es gab Vorschläge, die Kühlung mittels eines Stückchens Zunder, getaucht in Flüssigkeit, oder mittels eines am Handstück befestigten Spritzballes (wassergefüllt) vorzunehmen.¹⁶⁰⁾

Diese Lösungen wurden auch praktiziert. Professor G.T. Parker D.D.S. stellte 1875 schon ein Spray, nämlich die Burring-Engine-Injector vor: einen feinen Wasserstrahl zur Kühlung an der Bohrstelle.¹⁴⁴⁾

1879 lieferte die Firma Gebrüder Johnston eine Morrison-Bohrmaschine für die Reise, leicht und zerlegbar (Fuß aus poliertem Holz, Fußtritt von beiden Seiten bedienbar, Handstück liegt leicht in der Hand, zu einem niedrigeren Preis als die White'sche.¹³⁷⁾

Neue Zahn-Bohr- und Fraisen-Maschine, nach verbessertem amerikanischen System.



Preis inclusive 1 Winkelspitze, 1 Dtz. Bohrer und Fraisen,
Schraubenzieher und Öelgefäße 75 Thlr.

Bohrer, Fraisen und Polirer von $7\frac{1}{2}$ bis $12\frac{1}{2}$ Sgr. pr. Stück.				
Circulir-Sägen und Feilen	15	25	"	"
Corundräder und Polirsteine	$7\frac{1}{2}$	25	"	"

Diese neue Maschine, vorzüglichster Construction, ist ihrer grossen Nützlichkeit wegen bereits vielfach in Anwendung und erfreut sich eines stets wachsenden Beifalls.

Hamburg, Alsterthor 13.

Geo. Poulson.

Inserat von 1875

Abb. 3

Quellennachweis s. S. 105

Da die Fußtrittbohrmaschine von Morrison sich sehr rasch verbreitete, kamen auch entsprechende Anregungen und Verbesserungsvorschläge durch die benutzenden Zahnärzte in großer Zahl, die von den Verkäufern anscheinend schnell aufgegriffen und zur Ausführung gebracht wurden.^{14/15/32)} Es handelte sich hierbei z.B. um neue Handstücke mit Spitze aus gehärtetem, blau angelassenem Stahl (mit Abriebfestigkeit auch gegen "Polierpulver", Verbesserung der Verbindung Handstückkapsel - Bohrantrieb, rechtwinkeliges oder spitzwinkeliges Handstück (um auch unzugängliche Stellen in den Zahnreihen besser zu erreichen),⁸²⁾ Hammerzusätze (zum Polieren von Goldfüllungen), Bohrwinkel zum Vor- und Rückwärtsbohren. Aber auch Anregungen hinsichtlich der Werkzeuge wie Bohrer (Material) und Form, Sägen und Feilen wurden ausgiebig bei den zahnärztlichen Vereinssitzungen und der Wichtigkeit der Bohrmaschinen entsprechend als Hauptprogrammpunkte besprochen.³⁴⁾

Bei Untersuchungen über Vorteile der S.S. White'schen Ausführung (mit elastischem Bohrschlauch) und größerer Übersetzung gegenüber der Morrison'schen Ausführung (kräftige, kurze Spiralfeder, billiger (7,50 M)) wurden beide Maschinen als gleichwertig betrachtet.³⁵⁾

Auch neue Verfahrensweisen, die mit den bisherigen technischen Möglichkeiten nicht gegeben waren, wurden schnell verbreitet. Als Beispiel sei hier die Trepanation eines

äußerlich gesunden Backenzahnes mittels eines rechtwinkligen Handstückes und der Fußtrittbohrmaschine von lingual her aufgeführt.⁹²⁾

Der Jubel über die neue "wunderbare" Fußtrittbohrmaschine hielt weiter an ⁹³⁾ und wurde von allen Benutzern als "Juwel", "Gottesgeschenk", wundervoll praktisches Instrument gepriesen.

Dies ist verständlich, da sich die Arbeitsweise seit 100 n. Chr. bis zu dieser Zeit praktisch nicht geändert hatte (sicher aus Mangel an geeignetem technischen Gerät), obwohl sich genug Stimmen gegen zu häufige Extraktionen zugunsten der konservierenden Behandlung erhoben.^{69/71/72/7/182)}

Bis Morrison und auch Jahre danach wurden noch immer Handbohrer für "Fingerantrieb" angeboten und benutzt.

Obwohl erst einige Jahre eingeführt, lag der Gedanke an einen "echten Fremdantrieb", nicht durch den Behandler aufzubringende und damit ablenkende Kraft, nahe. Augenfällig in einem Bericht von Kleimann 1877 ⁹⁴⁾ über einen Kollegen: "Sauer arbeitet mit der Morrison'schen schnell und sauber. Seine Beine sind aber krank dabei geworden, so daß er nicht mehr treten kann." Es folgt der Hinweis: "Angenehm ist es, ... das Treten durch einen Assistenten besorgen zu lassen". Interessant ist auch sein Hinweis:

fortwährend tupfend zu arbeiten, um eine Überhitzung zu vermeiden. Die Fußtrittbohrmaschine arbeitete noch immer mit ca. 2000 U/min.

Es wird so enthusiastisch über die Vorteile der Fußtrittbohrmaschine berichtet, weil ja bisher der Schritt vom Handbohrer, Fiedelbohrer oder sonstiger Bohrgeräte durch den notwendigen Druck und die Gewalt zu dieser neuen Arbeitstechnik so groß war, daß selbst rasche Verletzungen der Pulpa "als mit keinem erheblichen Schmerz" begleitet, beschrieben werden.⁹⁵⁾

Das Anbohren der Zähne (Trepanatio dentium) ist jetzt eine "leicht zu verrichtende Operation".

Es folgte ein wahrer Boom an Neuerungen (auch bedingt durch die Zeit und das Entstehen eines deutschen Nationalgefühles) von deutschen Herstellern,¹⁶³⁾ die bereits die Möglichkeit einer Drehzahländerung durch Umlegen der Triebsschnur im Verhältnis bis ca. 1 : 4 bei konstanter Fußtrittzahl bot. Es befanden sich zwei Schnurrillen am Schwungrad und drei Rollen am Kopfstück. Weiterhin war ein Nachstellen am Reibrand zur Spirale möglich, die bereits aus 16 nebeneinander liegenden Drähten bestand, und konstruktiv war das Schlagen der Spirale unmöglich gemacht. Der Preis dieser Maschine belief sich auf 200 Mark (1881). Zu dieser Zeit kostete ein guter Stuhl mindestens 450 Mark.³⁸⁾

Verbesserungen, die eine leichte Beweglichkeit und Zugänglichkeit in der Mundhöhle ermöglichten, waren die Spiralen, das Universalgelenk¹⁰⁰ und möglichst kleine handliche Bohrer und Handstücke.

Dr. W.G.A. Bonwill ließ sich eine verbesserte Fußtrittbohrmaschine mit 33 cm Schwungrad Durchmesser sowie drei Gelenken, Riemenantrieb bis zum Handstück und Federkraft gegen den Toten Punkt des Fußkurbelantriebs 1882 patentieren. Hierzu wird bereits eine Drehzahl von 6000 U/min angegeben.¹⁰¹⁾

Eine Erleichterung versprach sich Dr. Fritz Mannhardt / Berlin mit seinem Patent N. 26146 vom 4. Juli 1883 von einer festklemmbaren Teleskop-Antriebswelle, so daß bequem die Arbeitshöhe eingestellt werden konnte.¹⁰²⁾

Erstaunlich ist, daß diese Fußtrittbohrmaschine noch (allerdings mit dem Doriot-Gestänge) 1952 in Katalogen (USA und Deutschland) zum Verkauf angeboten wurde.⁶⁸⁾

1949 erscheint folgende Zuschrift: ... Zahlreiche Kollegen sind heute glücklich, wenn ihnen die Anschaffung einer Tretbohrmaschine als Ersatz für die durch den Krieg vernichtete elektrische Bohrmaschine gelungen ist. Gleichzeitig erfolgt ein Angebot für deren Elektrifizierung für 230,- DM.¹⁸⁸⁾



Handstücke zur Bohrmaschine.

No. 1 gerades Handstück	Mk. 28,50.
No. 2 rechtwinkliges do.	" 18,50.
No. 3 stumpfwinkliges do.	" 18,50.
No. 4 spitzwinkliges do.	" 18,50.

mit Feuerschutzhülle.



Hand- und Winkelstücke
Inserat 1893

Greens Elektrische Bohrmaschine

V. 3. Zwischenkapitel: Entwicklungs-Übersicht der
industriellen Technik

Um das Entwicklungsgeschehen der Bohrantriebe besser in die Zusammenhänge der allgemeinen technischen Entwicklung eingliedern zu können, kurz ein Überblick der hierfür wichtigsten Phasen der industriellen Entwicklung in Stichpunkten:

a) Die Elektrifizierung (Stromversorgung)

1786	Galvani	Entdeckung der strömenden Elektrizität ⁹⁶⁾
1799	Volta	Herstellung der "Säule", Spannungsreihe (Primärbatterie)
1803	J.W.Ritter	Akkumulator (Sekundärbatterie), aufladbar
1820	Oerstedt	Zusammenhang Magnetismus - Elektrizität (Galvanometer) ¹⁴⁶⁾
1825	Sturgeon	Erster Elektromagnet ²⁷⁾
1831	Faraday	Induktion (bewegter Leiter im Magnetfeld und umgekehrt)
1832	Pixii	Generator
1833	Lenz	Umkehrbarkeit Motor - Generator
<u>1834</u>	Jacobi	Erster Motor mit Arbeitsabgabe (Boot)
1856	W.Siemens	Doppel-T-Anker
1860	Pacinotti	Ringanker und vierteiliger Kommutator

- 1866 W.Siemens dynamoelektrisches Prinzip ²⁸⁾
erste leistungsfähige Dynamo-
maschine
- 1869 Gramme Vielpolringanker (unter Verwendung
der Arbeiten von Pacinotti und
Siemens)
- 1872 v.Hefner- Trommelanker ¹⁷⁹⁾
Alteneck
- 1879 v.Siemens erste elektrisch betriebene Bahn
in Berlin
- 1882 O.v.Miller Versuchskraftstromleitung von
Miesbach nach München ^{169/99)}
- Edison erstes öffentliches E-Werk in
New York ¹⁷⁰⁾
- Schuckert erste deutsche Straßenbeleuch-
tung in Nürnberg ²⁹⁾
- Reißer erstes deutsches öffentliches
E-Werk in Stuttgart ³⁰⁾
- Erster Lehrstuhl für E-Technik am Poly-
technikum in Darmstadt
- 1883 Bau der ersten Transformatoren in England

Beginn der eigentlichen Elektrifizierung

- 1885 gibt es Gleichstromanlagen mit brauchbaren Motoren
für Industrie und Gewerbe (1884), erster Anschluß
eines Elektromotors am Kraftwerk Edisons in New
York ²¹⁾

Ergänzend seien noch drei wichtige Erfindungen in der Elektronik, die die heutige Ansteuertechnik der Elektromotoren ermöglichen, hinzugefügt:

1906 die steuerbare Vakuumröhre (Triode)

1948 der Transistor - Bell-Laboratorien USA

1950 gedruckte Schaltungen (kupfergeätzte Platinen)

Seit Ende der 60er Jahre: Integrierte Schaltkreise (IC)¹³⁰⁾

Ein paar Zahlen zur Verdeutlichung des Wachstums in der E-Technik:

1888 16 E-Werke in Deutschland ¹²⁹⁾

1898 375 E-Werke in Deutschland

1891 O.v.Miller erste Drehstromübertragung von
Lauffen nach Frankfurt am Main

1892 Stadt Zürich stellt ihren Konsumenten 110 V
Wechselstrom zur Verfügung ⁷³⁾, um

1900 beginnt die Verdrängung des Gaslichtes
durch die elektrische Beleuchtung

b) Die spezielle Stromversorgung der
elektrischen Bohrmaschine

Die Elektrizität als Energiequelle für den "Fremdantrieb" der zahnärztlichen Bohrmaschine zu nutzen, lag nahe. Die erste gleichmäßig fließende Elektrizitätsquelle war 1799 durch Volta erfunden worden.²⁴⁾ Dabei war jedoch die Leistungsfähigkeit noch sehr beschränkt, und über verschiedene

Entwicklungsstufen wurde eine ansprechende Leistung erst 1868 (Leclanché: Zink - Kohle in Salmiaklösung) erreicht.

Bei den Kohle-Zink-Batterien mit Chromsäure als Elektrolyt, die bis etwa 1885 benutzt wurden, mußten bei Gebrauch die Elemente mechanisch eingetaucht werden (Tauerbatterie). Sie waren sehr groß und unhandlich, die Chromsäure mußte eigenhändig hergestellt werden (375 g doppeltchromsaures Kali in 2 l H_2O + 750 g Schwefelsäure), und die Haltbarkeit war ebenfalls nicht besonders groß. Je nach Gebrauch mußte die Batterie nach 3 - 6 Wochen neu gefüllt werden. 1877 kosteten die Batterien ca. 120 Mark.¹⁵⁵⁾

Etwa ab Mitte der 80er Jahre setzte sich dann die bessere Dun'sche Batterie durch, die ein Ein- und Austauschen durch Verwendung von Kalilauge und übermangansaurem Kali nicht mehr nötig machte.⁴⁰⁾ Die Spannung betrug je Element 1,5 Volt, es wurden 6 Elemente zu 9 V bzw. 10 Elemente zu 15 Volt zusammengeschaltet.

1883 entstanden die ersten zufriedenstellenden Akkumulatoren (aufladbar, Sekundärbatterie).²⁵⁾ Ende der 80er Jahre wurde die Dun'sche Batterie überall dort, wo ein Aufladen möglich war, durch den Bleiplatten-Akkumulator abgelöst. Diese waren meist auf 24 Volt ausgelegt (12 Zellen á 2 Volt).

Die Firma Reiniger, Gebbert & Schall lieferte 1894 zwei Ausführungen für 15 und 40 Betriebsstunden mit einer Ladung, die sich in der Größe unterschieden. Walkhoff gibt an, mit der kleineren leicht eine Woche arbeiten zu können.³¹⁾ Das Laden kann über das Wochenende an irgendeiner Beleuchtungsanlage der Stadt vor sich gehen, falls nicht ein Anschluß an eine Zentrale oder eigene Anlage vorhanden ist.

1904 bietet die Firma Ash & Sons ¹⁶¹⁾, Berlin, zur Abhilfe des leidigen Stromversorgungsproblems eine Wasserturbine zur Erzeugung elektrischer Kraft für den Anschluß an die Wasserleitung an. Die Trubine kann direkt die Bohrmaschine speisen oder aber über die Ladung eines Akkumulators die elektrische Versorgung unabhängig von einem Elektrizitätswerk oder einer Zentrale bzw. eines Anschlusses an das E-Netz übernehmen. Als Betriebskosten sind ein Wasserverbrauch von ca. 4 - 7 Pfennig je Stunde angegeben.

Neben dieser Primärelektrizität setzt sich erst langsam die zentrale Versorgung über ein elektrisches Netz durch (s. Kap. V. 3 a, Die Elektrifizierung).

Die ersten ab 1882 errichteten Zentralstationen waren reine "Beleuchtungsanstalten" und lieferten Gleichstrom. Als fortschrittlichste erlaubten die 1884 erbauten Berliner städtischen Elektrizitätswerke 1886 den Anschluß von Elektromotoren (nur von New York übertriffen) ²⁾. Dadurch wurde es möglich, dort wo Einzelanschlüsse vorhanden waren, Elektromotoren ohne den Umweg über die Batterie bzw. den Akkumulator direkt über ein Netz einzuspeisen.

c) Meß- und Fertigungstechnik

Der wichtigste Grund, weshalb die im Grunde genialen Ideen (z.B. Greens Elektromotor von 1856, Hillischer Bohrmaschine von 1883 oder Greens pneumatische Bohrmaschine von 1868 u.a.) nicht verwirklicht wurden und sich gegen "veraltete" Techniken nicht durchsetzen konnten, war wohl oft der, daß keine genügend genauen Meßtechniken für eine der Idee entsprechend nötige Herstellungsgenauigkeit bestanden.

Kurz sei deshalb hier auf die groben Umriss der Meß- und Fertigungstechnikentwicklung eingegangen.

Der Beginn der Präzisionstechnik und der Feinmechanik kann in das späte Mittelalter, als die Kleinuhrenteknik anfang, gelegt werden.¹³¹⁾ Hierbei machte sich wahrscheinlich als ernsthaftes Hindernis handwerksmäßiger Fertigungstechnik das Fehlen von Werkzeugmaschinen bemerkbar, um die schon benötigte Genauigkeit und auch die Stückzahlen erreichen zu können. Von Leonardo da Vinci sind um 1500 bereits Bohr- und Drehmaschinen mit Schnellspannungsvorrichtung und Fußantrieb bekannt.¹⁷¹⁾

1561 mußte H. Spaichel in Nürnberg seine Supportdrehbank (d.h. mit Werkzeugschlitten) zerstören, da diese den Zunftbestimmungen widersprach.¹⁷²⁾

1631 wird von Pierre Vernier (1580 - 1637) der Nonius an dem ersten genauen Meßwerkzeug, der Schieblehre, eingerichtet. Damit erhält der Handwerker die Möglichkeit, auf 0,1 mm genau zu messen.¹⁸⁰⁾

Anfang des 19. Jahrhunderts werden die Werkzeugmaschinen genauer. Besonders in England, wo Whitworth (1803 - 1887) Methoden der Präzisionsarbeit mittels Lehren und Meßmaschinen anfangs 0,01 mm, später sogar einige 0,001 mm messen und vergleichen kann.¹⁷³⁾

1848 entwickelt Jean Palmer, Paris, die Mikrometerschraube, ein Meßwerkzeug, bei dem über die Steigung eines Gewindes und dem Index auf einer Trommel 0,01 mm gemessen werden können.¹⁸¹⁾

Die Werkstoffkunde bei der Stahlgewinnung Mitte des 19. Jahrhunderts sorgte für neue, bessere Werkstoffe und damit auch für bessere Werkzeuge. Um 1870 wird England, da es die besten Präzisionswerkzeugmaschinen besaß, als "Werkstatt der Welt" bezeichnet.

Ende des 19. Jahrhunderts findet die Spezialisierung der Werkzeugmaschinen für den jeweiligen Zweck (1873 automatische Revolverdrehbank, weiterhin Fräs-, Dreh-, Stoß-, Gewinde-, Schneid-, Bohr- und Schleifmaschinen) statt.

Anfang des 20. Jahrhunderts erfolgt die Umstellung des Kohlenstoffstahls als härtestes Werkzeug der Stahlbearbeitung auf hochlegierte Stähle (Schnellschnittstähle) und später auf spezielle Sintermetalle, den "Hartmetall" bestückten Werkzeugen mit Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 2000 m/min bei Leichtmetallen.

Zu gleicher Zeit fängt der elektrische Einzelantrieb an, die Transmissionsantriebe zu ersetzen.^{174/132)}

Internationale Passungsmaße werden durch die ISA festgelegt. Durch diese Normung wird der Austausch von Teilen ermöglicht und eine Beschränkung der notwendigen Werkzeuge erreicht.

Nach dem Zweiten Weltkrieg übernimmt die ISO (International Organisation for Standardisation) die Weiterentwicklung der internationalen Normung.

Mitte des 20. Jahrhunderts dürfen Meßgeräte mit folgenden Toleranzen gefertigt werden:

Schieblehre	$\pm 0,02 \text{ mm}$
Prüfmeßstab	$\pm 0,01 \text{ mm}$
Lehrdorn und Grenzrachenlehre	$\pm 0,003 \text{ mm}$
Schraublehre	$0,004 \text{ mm}$ bei einer Meßlänge von 25 mm. ⁸⁵⁾

Dies sei als Beispiel für die Steigerung der notwendigen Genauigkeit in der maschinellen, technischen Fertigung angeführt, die erst die Verwirklichung der Erfinderideen zu entsprechenden Zeiten ermöglichte.

d) Wälzlager

Als weitere wichtige Voraussetzung der Weiterentwicklung der Bohrantriebe kann die Wälzlagertechnik genannt werden. So ist z.B. eine 1932 beginnende Turbinenentwicklung mangels der damaligen Güte der Kugellager gescheitert.¹⁵²⁾

Vor dem eigentlichen Beginn der Wälzlagertechnik in Metallausführung ausgangs des 18. Jahrhunderts (ältestes Kugellagerpatent in England von 1794)⁸⁶⁾ werden in der Literatur immer einige Beispiele der frühen Zeiten angeführt:

330 v. Chr. Diades konstruierte einen Ramm balken,
der auf in Käfigen geführten Rollen gelagert ist.⁸⁷⁾

Zeitwende, der Djeberg-Wagen von Kelten gebaut, besitzt Gleitrollenlager,

um 1500 war es Leonardo da Vinci, der Rollen-, Kugel- und Scheibenlager beschreibt.⁴⁸⁾

1769 wird der 1500 t schwere Granitfelsen für das Denkmal Peter I. in Petersburg über Bronzekugeln, 120 mm Durchmesser in zylinderförmigen Bronzerillen geführt, bewegt.¹²⁶⁾

1864 patentiertes Konuslager (erstes brauchbares Fahrrad)

- 1880 ein Kugellager mit nachstellbaren stählernen Schalen (Brown und Hughes)¹⁷⁵⁾
- 1902 entsteht das Schulterlager von Hoffmann, das meistverwendete Lager für Elektromotoren und im Apparatebau.¹⁷⁶⁾
- 1903 Versuch der Normung (DWF-Katalog).⁸⁸⁾
- 1905 Wellenkorb nach Ernst Sachs
- 1908 das erste brauchbare Zylinderrollenlager (Norma Corp., Cannstatt)
- 1920 Kegel- und Pendelrollenlager von SKF¹⁷⁷⁾
- 1934 DIN-Aufstellung durch ISA-Komitee in Stockholm (internationale Normung)⁸⁴⁾

Eine wichtige Frage bei der Entwicklung der Wälzlager war die des Materials, da sehr hohe Drucke bei der punktförmigen Belastung und hohe Kräfte in Abhängigkeit der Drehzahl auftreten. Die Entwicklung der Miniatur- und Instrumentenlager (wobei Instrumentenlager nicht unbedingt klein sein müssen, sondern besondere Toleranzen einhalten sollen, Miniaturlager sind Kugellager, die einen Außendurchmesser kleiner als 10 mm haben) wurde besonders nach dem Zweiten Weltkrieg durch den Flugzeug-, Instrumentenbau und die Raumfahrt gefördert.

Es entwickelten sich Spezialfirmen (als Beispiel seien hier Gebr. Reinfurt / Würzburg, GMN-Kugellagerfabrik Nürnberg, SKF-Schweinfurt und INA Miniaturkugellager

Schaeffler Wälzlager GmbH Homburg, genannt), die z.B. Lager folgender Abmessungen für hohe Drehzahlen herstellen:

Innendurchmesser 1 mm, Außendurchmesser 3 mm,
Breite 1 mm, max. Drehzahl bei Ölschmierung
theoretisch 250 000 U/min

Werden diese Lager mit höheren Drehzahlen beaufschlagt, so geht dies zu Lasten der Lebensdauer (s. Beispiel unter Kap. V. 5. b), Luftturbine kugelgelagert von Siemens).

Erwähnt werden muß in diesem Kapitel, daß heute aufgrund der neuen Materialtechnologien (Sintermetalle mit hoher Abriebfestigkeit, selbstschmierend mit Notlaufeigenschaften) und hochpräziser Fertigungsmöglichkeiten auch Gleitlager und Luftlager bei zahnärztlichen Bohrantrieben verwendet werden.

e) Der Elektromotor (allgemein)

Da die Anwendung des Elektromotors als zahnärztlicher Bohrantrieb eine spezielle Auslegung (Größe, Leistung, Drehzahl) verlangt, dauerte es immer eine gewisse Zeit bis die Modifikationen entstanden, die für einen Einsatz geeignet waren. Vor der eigentlichen Geschichte als zahnärztlicher Motor sollen daher die wichtigsten Entwicklungsdaten des Elektromotors verdeutlicht werden.

1834 Jacobi M.H. entwickelte den ersten bekannten Elektromotor, der eine Arbeitsleistung abgab. 1838 betrieb er mit einer vergrößerten Version ein Boot mit 14 Personen auf der Newa in Petersburg.

Alle vorhergehenden Elektromotoren (1821 Rotationsapparat von Faraday, Barlow'sches Rad 1823, Ritchie's App. 1833 u.a.) dienten nur dem Nachweis der Bewegungserzeugung aus elektrischer Kraft, nicht der Leistungsabgabe.²⁶⁾

Da das Ziel, das mit dem Elektromotor erreicht werden sollte, anfänglich ganz auf die Fortbewegung gerichtet war, dachte man vor allem an die Stromversorgung durch die Batterie. Auf die Idee, die schon recht ordentlich funktionierenden Generatoren, aus denen die Motoren entstanden waren, als Energielieferant zu benutzen, kam man erst nach den Arbeiten von W. v. Siemens 1866, welche die Leistungsfähigkeit dieser Maschinen wesentlich steigerten (das Wesentliche des elektrodynamischen Prinzips ist es, den Statordauermagnet durch einen selbsterregten Elektromagneten zu ersetzen)⁹⁷⁾. 1877 weist Siemens darauf hin, daß insbesondere schnell rotierende Maschinen, wie Ventilatoren, Zentrifugen u.ä. für den elektrischen Betrieb geeignet wären.

1879 baut W. v. Siemens die erste elektrisch betriebene Bahn in Berlin. Es folgt eine Zeit des Für und Wider der verschiedenen Systeme, Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom. Während am Anfang der Entwicklung überwiegend der Gleichstrommotor bevorzugt wurde, stellte sich ab etwa 1890 für stärkere Maschinen und vor allem für die Energieübertragung der Drehstrom als günstiger heraus.

Hatte anfangs die elektrische Maschine den einfachen Doppel-T-Anker von Siemens, so wurde dieser ab 1871 durch den Gramme-Ringanker und kurz darauf durch den Trommelanker von Hafner-Alteneck wegen des günstigeren Wirkungsgrades abgelöst.^{179/98)}

Ende des 19. Jahrhunderts beginnen die neuen, effektiveren Elektromotoren alle Bereiche der Technik zu erobern, von der Werkzeugmaschine über den Fahrstuhl, die Eisenbahn und die Wasserpumpen.

Nur langsam jedoch löst die technische Entwicklung die Aufgaben - trotz kleiner Baugröße - brauchbare, mechanische Leistungen abzugeben. Auf dem zahnärztlichen Sektor gelingt dies erst praktisch mit dem heute verwendeten Mikromotor, der ab 1965 auf dem Markt erscheint, wie die Entwicklung im nächsten Kapitel zeigen wird.

V. 4. Der elektromagnetische Bohrantrieb

Obwohl das Prinzip des Elektromotors schon einige Jahrzehnte (Jacobi 1834) bekannt war, waren erstaunlicherweise etwa 1885 noch keine erfolgreichen Entwicklungen bekannt, dem Zahnarzt die Bohrtätigkeit mittels Elektromotor abzunehmen. Das mag zum einen an der kritischen Haltung dem elektrischen Strom gegenüber als auch an der geringen Leistungsfähigkeit der kleinen Elektromotoren bzw. umgekehrt der Unhandlichkeit und Größe der leistungsfähigen Elektromaschinen gelegen haben.

Es wird behauptet, daß bereits 1856, rund 20 Jahre nach Erfindung des Elektromotors, G.F. Green, Ingenieur in Michigan, erste Versuche mit einem direkt am Handstück befindlichen Elektromotor gemacht habe.^{149/168} Dieser wurde aber erst 1871, zur gleichen Zeit wie die robuste und einfache Fußtrittbohrmaschine Morrisons, zum Patent angemeldet. Rauschenbach beschreibt 1898 die Green'sche Bohrmaschine als schwer, plump und von ungenügender Antriebskraft, was nach dem Stand der damaligen Technik auch nicht anders zu erwarten war. Dennoch kann Green auch hier als seiner Zeit voraus angesehen werden, da diese technische Lösung nach all den Zwischenstufen, die durch die technischen Möglichkeiten nötig waren (Schnurrollenantrieb, Drehgestänge, biegsame Welle = Bohrschlauch, Doriot-Gestänge),

erst 1965 durch einen kleinen direkt am Handstück befindlichen Elektromotor wiederholt wurde und heute als Standardmotor (Mikromotor) betrachtet werden kann.

Vorläufig jedoch, um 1870, mußten genau besehen einige "Fehlentwicklungen" überwunden werden, ehe dem Zahnarzt die Technik des Präparierens so wesentlich erleichtert werden konnte.

Morrisons Fußtrittbohrmaschine war vorerst ein ungleich wesentlicher Erfolg als Green's Konstruktion beschieden, obwohl S.S. White bei der Vorstellung dieser Maschine in Niagarafalls bei einer Versammlung der American Dental Association schreibt: "Die Kunst, dem Blitz einen Zaum umzulegen, ist in diesem zierlichen, compacten und portablen Drillbohrer vollauf gelungen. Die Kraft, die damit ausgeübt wird, ist mehr als hinreichend für alle zahnärztlichen Zwecke. Es ist dies tatsächlich erwiesen."

Die Praxis sollte anders entscheiden, da die notwendige Versorgung mit Elektrizität noch nicht genügend entwickelt war und auch der Motor material- und konstruktionsmäßig noch nicht als einsatzfähig bezeichnet werden kann.

Morrisons Maschine schien sich augenblicklich zu bewähren, und so lag der Gedanke nahe, einfach nur das Fußpedal durch einen schon fabrikmäßig hergestellten Motor zu ersetzen:

1875 ⁶⁶⁾ stellte die Firma S.S. White Dental Mfg. Co. eine Maschine vor, bei der die Fußtriebkraft durch einen Union Elektro Motor, der für Nähmaschinen und Pumpen verwendet wurde, ersetzt war. Der Strombedarf wurde aus einer Batterie gedeckt (s. V. 3. b.).

Einer der ersten Versuche, eine spezielle zahnärztliche elektromotorische Maschine (nach dem Fehlschlagen des Green'schen Handstückmotors) war die Patentanmeldung von Elihu Pettit in Philadelphia 1876. Wie aus dem Holzschnitt ¹⁰⁹⁾ hervorgeht, benutzte er zwei Statorwicklungen und einen anscheinend mit Dauermagneten bestückten Rotor, der gleichzeitig als Schwungrad und Antriebsrad diente. Es ist nicht bekannt, ob diese Maschine überhaupt zur Anwendung kam. Wahrscheinlich wurde auch keine drehende, sondern eine Hin- und Herbewegung (Vibrieren) erzeugt. Brauchbare elektrische Bohrmaschinen seien 1881 von Coffin (London) und Underwood (St. Louis) auf einem zahnmedizinischen Kongreß in London gezeigt worden.¹⁶⁷⁾ Diese sollte bereits aus einem freischwebenden Griscome-Motor bestehen.

1883 begann die Entwicklung weg vom Gestell der Fußtritt-bohrmaschine Morrisons mit der Erfindung von Professor Griscome an der Militärakademie in Washington durch Zusammenbau eines Elektromotors mit biegsamer Welle ("Bohrschlauch") und dem Handstück, angeschlossen an die erwähnte Taucherbatterie.

Auch kein Erfolg beschieden war dem Wiener Zahnarzt Hillischer ⁷⁷⁾, der 1883 eine Entwicklung ähnlich dem Green'schen Motor von 1856, einem Vorläufer des Mikro-motors, patentieren ließ.

1884 wurde in den USA von S.S. White Dental Mfg. Co ein bereits 1877 patentierter Elektromotor als Zusatzteil zum Stuhl, befestigt über einem Arm, eingeführt.⁶⁷⁾

Ebenfalls 1884 am 30. September ließen die Gebrüder Zuter in Frankfurt a.M. eine "Verkuppelung von Zahnbohrmaschinen und elektrischen Kraftmaschinen" patentieren,¹⁹³⁾ wobei erreicht wurde, daß eine gewöhnliche Fußtrittbohrmaschine auch durch eine elektrische Kraftmaschine betrieben werden konnte.

Anläßlich der 25. Jahresversammlung des Centralvereins deutscher Zahnärzte (2. - 4.8.1886) in Dresden berichtet H. Schlenker, daß er seit drei Jahren mit einer elektrischen Poulson-Maschine (Poulson ist Dentallieferant in Berlin), gespeist von einer Dun-Batterie, vorzüglich arbeitet und sehr zufrieden ist.¹⁵⁷⁾

Zur gleichen Zeit erscheinen Fabrikate z.B. der Firma Schäfer & Montanus in Frankfurt a.M., Firma Zuter in Frankfurt a.M. und der Firma Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

1886 ist auch bereits eine Ein-, Ausschalt- und Regeleinrichtung in Deutschland, Amerika und England patentiert, die über dem Handstück am Bohrschlauch mit der linken Hand betätigt werden kann, während die rechte Hand das Handstück hält.¹¹⁰⁾ Die Geschwindigkeitsregelung geht in Stufen über Zu- bzw. Abschalten von Widerständen. Diese Regulier- und Einschaltvorrichtung wird von Schäfer & Montanus / Frankfurt a.M. am 30.1.1886 unter Pat.Nr. 37086 patentiert. Es handelt sich um eine Schiebe-Drehhülse mit Innengewinde und Kontaktfedern aus Neusilber, wobei bei Drehung verschiedene Feder-Paare, die gleichbedeutend mit unterschiedlichen Vorwiderständen sind, zusammengeschaltet werden.¹⁵⁶⁾

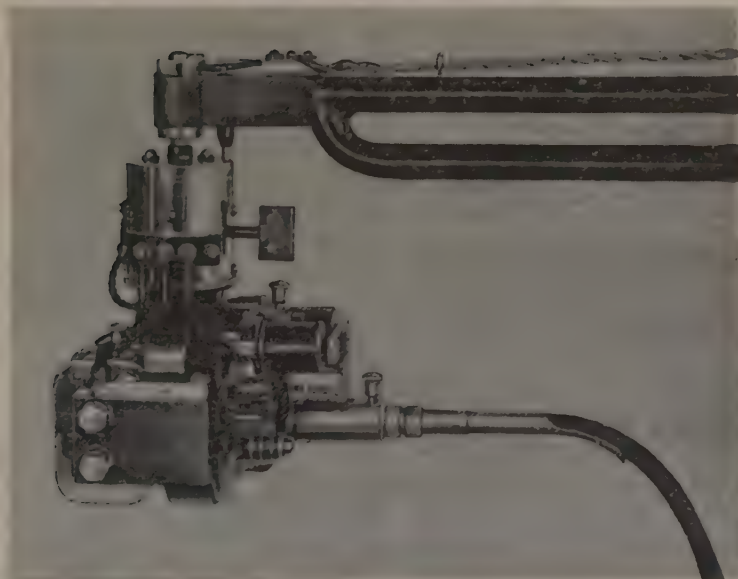
Die Batteriefüllung hält nun bereits bis zu 3 Monaten.

Ein dritter, bekannt gewordener Versuch mit der nun schon gereifteren Technik, die Idee Greens (Elektromotor direkt am Handstück) wieder aufzugreifen, scheitert in diesen Jahren wiederum. Floerke sen. führte 1886 seinen von der Firma Coxeter & Nehmer (London) gebauten Motor ohne biegsame Zwischenwelle vor.⁵¹⁾

Henry Nehmer läßt diese Art des Motors am 24. April 1887 in Berlin patentieren.¹⁴⁰⁾



Reinigers
elektrische
Bohrmaschinen
1887



offener, ungeschützter E-Motor um 1890

Abb. 5

Quellennachweis s. S. 105

Der Vortrag von Hofzahnarzt Friedrich Schneider aus Erlangen bei der Jahresversammlung des Central-Vereins deutscher Zahnärzte in Berlin 1887 zeigt die Situation in der Einführung der neuen elektrischen Bohrmaschinen und die Schwierigkeit, die die neue Technik mit sich bringt.¹⁵⁸⁾

Friedrich Schneider wies mit Recht auf die sinnvolle und richtige technische Handhabung hin, die erst die Vorteile dieser neuen Technologie ergeben kann (Rheostat plus Ampere-meter und richtige Einstellmarken zur Schonung der Batterie und der Instrumente). Den Vorteil der Elektromotoren gegenüber dem Wasserantrieb sieht er neben der großen Mobilität vor allem darin, daß die Elektrizität sowieso für Licht und Galvanokaustik vorhanden sein muß.

Nebenbei bemerkt sei noch, daß Schneider Studenten in der Zahnmedizin unterrichtete ⁷⁶⁾ (Erlangen - Theaterplatz) und als Gründer der zahnärztlichen Poliklinik von 1892 (Separierung der Abteilung Zahnmedizin innerhalb der königlichen Universität zu Erlangen) und damit auch als Begründer der heutigen Zahn-, Mund- und Kieferklinik der Universität Erlangen-Nürnberg gilt.

Ein wichtiger Punkt, wie Schneider erkannte, die richtige Handhabung, war jahrzehntelang ein großes Hindernis für die schnellere Einführung der elektrischen Bohrmaschine. Obwohl

viele Zahnärzte an der neuen Technologie mitarbeiteten, so war es im allgemeinen gesehen doch so, daß Apparate von Technikern entwickelt, aber von "Nichttechnikern" bedient werden mußten, so daß erst die Erfahrung beider, der Techniker bei der Erstellung der Gebrauchsanweisung, - viele Geräte wurden ohne eine nötige Einweisung und entsprechende Gebrauchsunterlagen ausgeliefert -, und der Zahnärzte bei der Handhabung, zu einem Erfolg beitragen konnten.

Ein großes Problem in diesem Sinn waren anfangs auch die elektrischen Schläge, welche die Patienten erschreckten und die Zahnärzte verunsicherten, bis die nötigen Voraussetzungen, Isolierung des Bohrschlauches, richtige Anwendung, Kapselung des Motors usw., stattfanden.

Auch warnende Stimmen gegen den ausschließlichen Gebrauch der elektrischen Bohrmaschinen wurden laut. Da folgender Artikel die Problematik sehr schön darstellt, möchte ich wörtlich zitieren:

"Die Bohrmaschine. 111)

Während die neueren zahnärztlichen Apparate in vieler Hinsicht sehr vereinfacht worden sind, kann man sie in anderer Beziehung als complicirt bezeichnen. Es ist ein grosser Irrthum, zu glauben, dass es irgend eine Maschine oder ein Instrument giebt, welches im Stande wäre, die etwaige Ungeschicktheit oder Ungeübtheit des Operators zu ersetzen. Allerdings kann manches Hinderniss, welches die betreffende

Operation beinahe unausführbar zu machen schien, mit Hilfe eines neu-erfundenen Apparates oder Instrumentes ermöglicht werden; allein die Handhabung des letzteren erfordert eine bedeutende Gewandtheit und Geschicklichkeit, sowie ein genaues Verständniss des Mechanismus. Alle unsere neueren Apparate und Instrumente erregen nur Verwirrung, wenn der Operateur sie nicht richtig zu handhaben und ihren Vortheil auszunutzen versteht. Es ist nicht zu bezweifeln, dass durch die Anwendung der Bohrmaschine viele Zähne zu Grunde gegangen sind; die Schuld lag aber nicht an der Maschine, sondern an der ungeschickten oder unpassenden Verwendung derselben. Wenn z.B. ein Zahnarzt, welcher gewöhnt ist, seit Jahren mit dem Handbohrer zu arbeiten, die ersten Versuche mit der Bohrmaschine macht, ist er noch nicht mit der schnellen Wirkung derselben vertraut, und gewöhnlich schneidet er dann allzu tief in gesundes Gewebe ein und es gehen Theile der Zahnsubstanz verloren, welche zu erhalten gewesen wären. Die Erfahrung hat ferner bewiesen, dass der Operateur, nachdem er einige Zeit mit stumpfen Bohrern gearbeitet hat und dann ein anderes Instrument verwendet, trotz der grössten Sorgfalt oft allzu tief in weiches Dentin einschneidet.

Die altmodischen Excavatoren gestatten die gewissenhafteste Bearbeitung der Cavität; das Präparieren der letzteren sollte niemals ausschliesslich mit Bohrmaschinen-Instrumenten vorgenommen werden, weil der Zahnarzt bei Verwendung der letzteren nicht so genau fühlen kann, wenn er in gesundes oder in krankes Gewebe einschneidet, als dies mit einem Handinstrument der Fall ist. Das unvermeidliche Tremuliren der Spitze des Instruments zerstört jede Zartheit der Berührung.

Man kann nekrotische Knochentheile von gesunden an dem eigenthümlichen knisternden Geräusch unterscheiden, welches sich bei der Bearbeitung mit einem Metallinstrument mit der Hand bemerkbar macht; allein es ist unmöglich, dieses Geräusch zu erkennen, wenn man mit der Bohrmaschine arbeitet. Deshalb kann man, wenn man eine Cavität mit Instrumenten an der Bohrmaschine präparirt, nicht genau beobachten, ob und wie viel erweichtes Dentin vorhanden ist. Das Excaviren lässt sich allerdings sehr gut mit Hülfe der Bohrmaschine bewerkstelligen; ehe man jedoch mit dieser Arbeit beginnt, sollte man die Cavität mit einer Sonde genau untersuchen; während man excavirt, empfiehlt es sich, den Bohrer häufig mit der Sonde zu vertauschen, um sich genau darüber zu vergewissern, wie viel Zahnschubstanz nach der Entfernung der cariösen Theile noch weggeschnitten werden muss oder vielmehr darf. Während dieser wiederholten Untersuchungen muss die Bohrmaschine ruhen; auf diese Weise wird nicht zu viel gesunde Zahnschubstanz weggeschritten.

Jeder Zahnarzt, welcher die zu füllende Cavität ausschliesslich mit der Bohrmaschine präparirt, sollte es sich zur Pflicht machen, nach dem Excaviren und vor Einführung der Füllung alle Cavitätenwände nochmals auf das Sorgfältigste zu untersuchen; oft wird er zu seiner Ueberraschung an einzelnen Stellen noch erweichtes Dentin vorfinden, trotzdem er glaubte, dasselbe vollständig entfernt zu haben. Durch diesen Umstand werden viele Misserfolge erklärlich, deren Ursache bisher dunkel war. Es empfiehlt sich deshalb, während der Anwendung der Bohrmaschine häufig eine Pause eintreten zu lassen und während derselben die Cavität mit einem Handinstrument genau zu untersuchen. (Independent Practitioner)"

Otto Walkhoff (Braunschweig) schreibt 1894 begeistert in einem Bericht über die neue elektrische Bohrmaschine von Reiniger, Gebbert & Schall, einer der besten Motoren, der Stromverbrauch sei etwa $\frac{1}{3}$ des bisherigen der Motoren, was hauptsächlich auf die moderne Konstruktion des Motors¹⁸³⁾ (geringe magnetische Verluste durch kleinen Luftspalt und geringe Wirbelströme) zurückzuführen ist. Außerdem hat der Motor schon eine elektromagnetische Ein- und Ausrückvorrichtung, welche einen sofortigen Stop des Bohrers ermöglicht.

Walkhoff hält es außerdem für am besten, den Motor an einen Wandarm drehbar aufzuhängen (Vibration, psychologische Wirkung auf den Patienten, Reichweite), gleichzeitig mit einer automatischen Ausschaltung beim Wegschwenken. Er äußert die feste Überzeugung, daß es in 10 Jahren nur noch sehr wenige Tretbohrmaschinen geben wird, da das Arbeiten sehr viel schneller und besser vor sich gehe.

Die wichtigsten Elektromotorenlieferanten anfangs der 90er Jahre für zahnärztliche Bohrmaschinen waren Schäfer & Montanus, Gebr. Zuter, Firma Reiniger, Gebbert & Schall und Ash (Cuttris)⁴¹⁾.

Zum Aufbau der Motoren:

Der anfangs verwendete Doppel-T-Anker nach W.v.Siemens hatte den Nachteil, daß er nicht aus allen Stellungen von allein anlief (Toter Punkt). Dieser zweipolige Anker wurde ab 1891 durch den vielpoligen Gramme'schen Ringanker mit vielseitigem Kommutator (erfunden nach Arbeiten von Pacinotti und Siemens 1869) und dieser etwa 1897 durch den effektiveren Trommelanker abgelöst. Dieser hatte im Inneren keine Wicklungen mehr und war von Hefner-Alteneck bereits 1872 entwickelt worden.²⁸⁾

Die Firma Reiniger, Gebbert & Schall lieferte bereits 1895 Wechselstrommaschinen nach England; in Deutschland wurden Maschinen für 4, 12 und 24 Volt Gleichstrom-Batterie bzw. Akku-Betrieb geliefert und ab ca. 1895 auch mit 65, 110 oder 220 Volt Gleichstrom für Anschluß an eine Zentrale. Da diese Motoren noch nicht gekapselt waren, war hier die Gefahr von elektrischen Schlägen sehr hoch und der Einführung nicht dienlich.

Aus Zürich ist bekannt, daß die Stadt den Konsumenten seit 1892 ⁷³⁾ bereits 110 v Wechselstrom zur Verfügung stellt, jedoch bis 1894 gelang es dem Berichterstatter A. Hafner nicht, einen geeigneten Wechselstrommotor zu erhalten. Im August 1894 fertigt die Schweizer Maschinenfabrik Oerlikon ihm nach seinen Angaben einen Wechselstrommotor, der nicht

wesentlich größer als ein vergleichbarer Gleichstrommotor ist (Durchmesser 18 cm, Länge 15 cm, 1300 U/min und ca. 50 Watt). Der Preis beläuft sich auf 150 Franken, die Betriebsstunde kostet bei der Stadtverwaltung 10 Rappen.⁷⁴⁾ 1897 wurden die Bohrmaschinen bereits wesentlich kleiner in der Konstruktion und waren zum Teil auch schon voll gekapselt (größere Sicherheit und geringere Verschmutzung).⁸⁾

Es ist nun schon eher verständlich, wenn H.A. ¹⁴¹⁾ 1897/98 ein Loblied auf die elektrische Bohrmaschine schreibt: "Wenn Kollegen über Nervosität klagen, die Tretwerkzeuge (Füße) leiden, dann "bohre elektrisch". Er empfiehlt aber die Fußtrittbohrmaschine als Reserve für grobe Arbeiten und um die neue zu schonen.

Die Drehzahl der elektrischen Bohrmaschine ist zu dieser Zeit regelbar von ca. 800 bis 3000 U/min, und die Maschinen sind noch mit Bohrschlauch (biegsame Welle) ausgestattet.¹⁵¹⁾ Es gibt die Maschine auch für Wechsel- und Gleichstrom, die Bremsung des Ankers erfolgt über Ankerkurzschlußwindung. Als wichtigste Wartungsarbeiten sind das Bürstenreinigen und der Bürstenersatz aufgeführt. Beim Gleichstrommotor erfolgt die Metallbürstenreinigung mit Benzin, Ersatz bei 1/3 der ursprünglichen Länge. Der Wechselstrommotor hat Kohlebürsten. Die Wartung sollte vom Zahnarzt selber und nicht von Mitarbeitern ausgeführt werden.

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts war die Drehzahl der Motoren bedingt durch die Verwendung des Bohrschlauches bis max. 2000 U/min eingeschränkt, dann erhitzte sich die biegsame Welle zu stark. Die Entwicklung ging dahin, die Motoren leistungsfähiger, kleiner und handlicher (Kardanaufhängung ca. 1898, schwerlose Aufhängung über Ausgleichsgewichte und Rollen) zu machen, damit die Welle und der Motor die Bewegungen des Zahnarztes nicht störend beeinträchtigt. Die Einführung des Doriot-Gestänges (eines Schnurrollenantriebes über Rollen und Gelenke bis zum Handstück ohne biegsame Welle, dem menschlichen Arm mit allen Gelenken einschließlich dem Handgelenk nachempfunden), das eigentlich schon Morrisons erste angemeldete Maschine 1871 besaß, ermöglichte höhere Drehzahlen. Dieses Gestänge wurde 1893 in Philadelphia patentiert ⁷⁹⁾ und ab 1907 an einigen Maschinen ausgeführt. Es wurden Geschwindigkeiten bis 6000 U/min Anfang der 20er Jahre erreicht.

Eine Empfehlung 1920 lautete: 1000 U/min für das Bohren, 4000 U/min für das Diamantinstrument (das aus einem diamantsplitterbelegten Kupferkegel mit Durchmesser bis zu 20 mm ¹³⁸⁾ bestand).

Das Doriotgestänge blieb die wichtigste Antriebsart bis zum Erscheinen des Mikromotors 1965. Bis dahin gab es keine technische Lösung, die vielen Nachteile des Schnurrollenantriebs

zu beheben. So kam es zu flatternden Schnurbewegungen, weil sich die Schnur bei hohen Drehzahlen dehnte, die versehentliche Berührung der Schnur war unangenehm für Patient und Zahnarzt.⁵⁴⁾ Bei der Übertragung durch die Schnurrollen gehen ca. 80 % der Motorleistung verloren.¹¹⁴⁾ Das Handstück war durch die Arme und Schnüre, trotz der vielen Gelenke, relativ schlecht zu handhaben.

1918 stellt S. Gersbach einen "Piccolo"-Motor vor, der sehr kompakt (ca. 8 cm Durchmesser und ca. 10 cm lang) und handlich ist. Dieser Motor ⁵⁷⁾ ist zur Befestigung an der Fußtrittbohrmaschine (damit man bei Stromausfall weiterarbeiten kann) oder aber mit zerlegbarem Ständer für transportablen Einsatz gedacht.

Die inzwischen verbesserten Werkzeugmaschinen machen sich in der Ausführung bemerkbar, geschliffene Achsen, hergestellt auf Präzisions-Rundschleifmaschinen, gemessen mit Lehren, die mit Johansson-Endmaßen geprüft werden ($\pm 1 \mu$) sind Anfang der 20er Jahre auf dem Markt zu finden. Die Wirkungsgrade stiegen ebenfalls durch bessere Wickeltechnik und kleineren Luftspalt aufgrund der erzielten höheren Genauigkeit. Da die bisherige mechanische Leistung aber anscheinend ausreichte, wurde die Wirkungsgradverbesserung dazu benutzt, kleineren Stromverbrauch bei gleicher mechanischer Leistung zu verwirklichen. Ältere Motoren benötigten noch ca. 100 Watt, während 1922 schon

Motoren mit nur 37 Watt ausreichten. Eine Kilowattstunde kostete z.B. in Düsseldorf 5,40 M, so daß bei einer durchschnittlichen Laufzeit von damals ca. 2 Stunden je Arbeitstag der Stromverbrauch der Bohrmaschine je Tag ca. 70 Pfennige kostete.¹⁹⁰⁾

Aus einer Entwicklungsnotiz eines bekannten Motorherstellers läßt sich z.B. entnehmen, daß die Messungen bei verschiedenen Luftspalten (0,5 mm, 1 mm und 1,5 mm) ein überproportionales Ansteigen des Motorstroms bei gleicher Leistungsabgabe und damit natürlich auch eine stärkere Erwärmung ergaben. Der kleinere Luftspalt (doppelte Differenz zwischen Ankerradius und Statorinnenradius) war natürlich nur durch höhere Fertigungsqualität zu verwirklichen.¹⁶⁶⁾

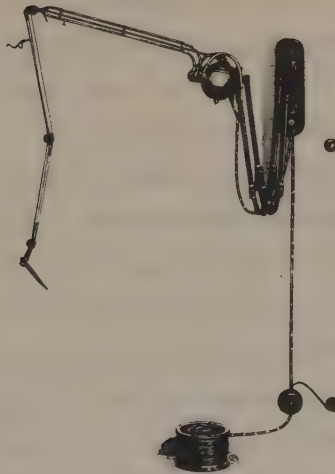
Die Bohrmaschine war nun so verbreitet und auch ausgereift, daß Untersuchungen über die Bohrverfahren, Bohrerarten und günstigste Geschwindigkeiten aufgestellt wurden.

Huet stellte in ausführlichen Versuchen und Erläuterungen¹⁹¹⁾ dar, daß angeblich bei Dentin im Gegensatz zu Metall nicht schneidend, sondern schabend gearbeitet werden sollte, d.h. in heute gängigen Winkeln an der Werkzeugschneide ausgedrückt, der Schnittwinkel (bestehend aus Keilwinkel und Freiwinkel, wobei der Keilwinkel der Winkel ist, den die

Werkzeugschneide, der Werkzeugkeil, bildet und der Freiwinkel den Winkel zwischen Werkzeug und bearbeitender Fläche darstellt) größer als 90° sein sollte. Der Spanwinkel (Winkel, an welchem der gebildete Span abgleitet) wird dabei 0° bzw. negativ. Wenn sich auch herausstellte, daß diese Behauptung nicht den Tatsachen entspricht, so wurde doch deutlich, daß die systematische Betrachtung der Zerspanung der Zahnhartsubstanzen begonnen hat, und daraus resultieren auch die dann verwirklichten Werkzeug- und Bohrmaschinenverbesserungen.

Huet entwickelt ab 1922 auch einen Bohrmotor, der von 5000 bis 15000 U/min regelbar ist und neue Dimensionen in der Schnittgeschwindigkeit (= Umfangsgeschwindigkeit am Werkzeug, z.B. am Schleifsteinchen) ermöglicht.¹⁸⁹⁾ Er berechnete, daß die ideale Schleifschnittgeschwindigkeit ca. 700 m/min betragen sollte, was bei einem Durchmesser von 15 mm etwa 15000 U/min ergeben würde. Er kommt damit unseren modernen Vorstellungen schon recht nahe und empfiehlt bereits intermittierendes Arbeiten, auch beim Bohren mit 5000 bis 8000 U/min: 2/5 Sekunden bohren und 3/5 Sekunden Pause, wobei die intermittierende Arbeitsweise jedoch hauptsächlich dazu dient, die Maschine nicht zu heiß werden zu lassen. Auch den bisherigen Arbeitsdruck vermindert er als Richtangabe bis auf ca. 50 g. Als einziger Nachteil dieser Bohrmethode wird das lautere Geräusch des Motors angegeben. E. Huet veröffentlicht seine Ergebnisse 1927 in seiner Arbeit "Die Fräsen".

Elektrische
**Bohrmaschinen
für die Zahnpraxis**



Katalog⁷ 720

SIEMENS-REINIGER-VEIFA

Gesellschaft für medizinische Technik m. b. H.

BERLIN W 8

gekapselte Bohrmaschine am Wandarm
mit Doriot-Gestänge um 1927

Diese umwälzenden Bearbeitungshinweise und die, zum Teil auch falschen Forderungen an die Werkzeuge, fordern natürlich Gegendarstellungen heraus; so z.B. durch F. Schreiber 1932 in seinen experimentellen Untersuchungen über die Leistungsgröße der gebräuchlichsten zahnärztlichen Bohrinstrumente als Grundlage der Konstruktion von Hochleistungsbohrern.¹¹²⁾ Diese Versuche zeigen, daß nicht die Schaberform, sondern die Werkzeugschneide umso besser schneidet, je kleiner der Keilwinkel ist, jedoch geht ein kleiner Keilwinkel zu Lasten der Standzeit (Zeit in welcher der Bohrer scharf ist). Es erscheinen auch Bedenken gegen die hohen Tourenzahlen: "Wir bohren falsch" sagt z.B. W. Salzmann / Düsseldorf 1932¹⁹²⁾ und fordert drastische Beschränkung auf 600 U/min, da die Hitzeentwicklung zur Verbrennung der Zahnhartsubstanz, zur Hyperämie der Pulpa und evtl. gar zur dauernden Irritation der Pulpa führt. Außerdem fällt bei dieser niedrigen Drehzahl auch das unangenehme Geräusch weg. Alle diese Meinungen - so gegensätzlich sie auch sein mögen - beinhalten begründete Forderungen: Nachteile, die durch die mangelhafte Technik und auch Handhabung entstehen, z.B. zu geringe Kühlung, unscharfe Werkzeuge usw. abzuschaffen.

In diese aufkommende, neue Entwicklungen herausfordernde Diskussion kommt durch den Zweiten Weltkrieg ein auffallender Entwicklungsstillstand. Man kann sagen, daß seit der gekapselten, kardanisch aufgehängten Bohrmaschine mit Doriot-Gestänge

zu Anfang des 20. Jahrhunderts außer Drehzahlerhöhungen von 1935 (1000 - 7000) über 1949 (1000 - 12000) erst 1965 mit dem Mikromotor ein wesentlicher Fortschritt bei den elektrischen Bohrmaschinen erzielt wurde, zumal anscheinend auch ein zufriedenstellendes Instrumentarium für den Zahnarzt geschaffen war und auch die vorhandenen Werkzeuge (Stahlbohrer, Carborundum- und Diamantschleifkörper) für höhere Drehzahlen ungeeignet erschienen.

Erst die Hartmetallbohrer in den 50er Jahren verlangten nach höheren Drehzahlen, ebenso die kleiner gewordenen Schleifkörper (geringere Unwucht, präziser), um in den von Huet angegebenen Bereich von ca. 700 m/min zu gelangen. Es wurden auch bessere Kühlvorrichtungen (Kühlspray) entwickelt, und gute Lagerungen (z.B. Imperatorprinzip) führten zu ruhigerem Lauf und längerer Lebensdauer.¹³⁹⁾ Durch Zwischengetriebe konnte daher die Drehzahl bis auf ca. 20 000 U/min zu diesem Zeitpunkt erhöht werden.

Noch in den 50er Jahren kommen extrem schnelle Hand- und Winkelstücke auf den Markt, die speziell luftgekühlt über Nylon-Riemen-Übertragungen die Drehzahl auf bis zu 200 000 U/min heraufsetzen, wobei der Geschwindigkeitsgewinn wie gesagt nicht im Motor (dieser dreht nach wie vor bei 10 000 - 12 000 U/min), sondern durch die Übersetzungen entstehen und bei allen Konstruktionen der schlechte Wirkungsgrad des

Doriot-Gestänges mitgetragen werden muß. Das bedeutet, daß eine etwa 5mal so große Leistung wie sie am Bohrinstrument benötigt wird, im Motor erzeugt werden muß. Dies bedingt die Baugröße der Motoren, und hieraus resultiert die maximale Drehzahl, die ja hauptsächlich massebedingt ist.

Das Problem der höchsttourigen Bohrer wird dann auch wie in Kap. V. 5. b) (Luftantriebe) beschrieben, durch nicht elektrische Bohrmaschinen gelöst werden. Es bleibt jedoch der Bereich von ca. 600 bis 100 000 U/min für einen anderen Antrieb offen, da dieser Bereich bei verschiedenen zahnärztlichen Verrichtungen benötigt wird und mittels Turbinen schlecht überdeckt werden kann.

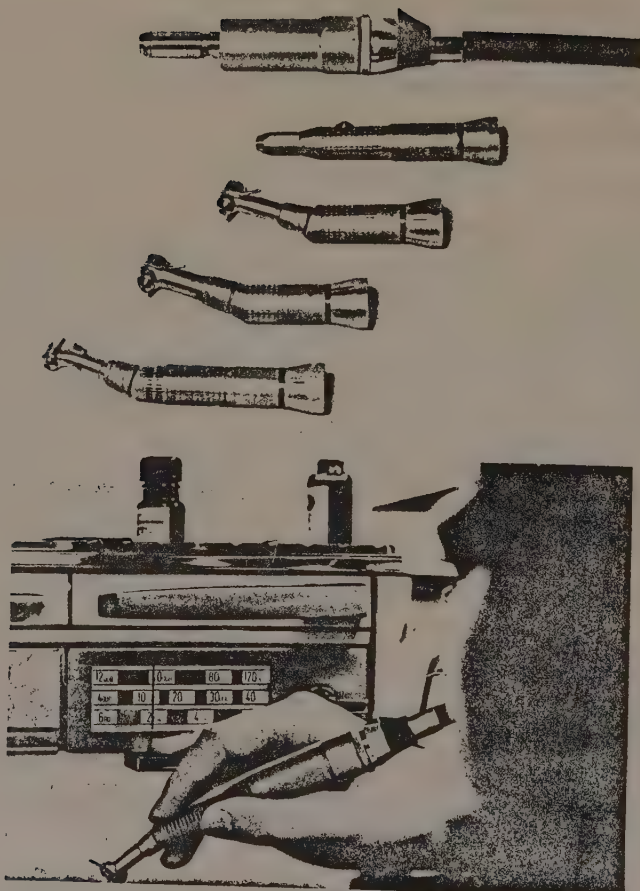
Zu diesen Tätigkeiten, bei denen niedrigere und mittlere Drehzahlen benötigt werden, gehören z.B. die Wurzelkanalbehandlung, das Entfernen bereits erweichten Dentins oder das Präparieren in Pulpanähe. Nötig ist ebenfalls das Nachpräparieren und Finieren aufgrund der Härteverminderung von ca. 20 % im Schmelz ¹¹⁷⁾ durch die höchsttourige Präparation.

Eine Lösung mit Doriot-Gestänge war demnach für den mittleren Bereich schlecht oder mit hoher Geräuscentwicklung sowie Verschleiß und außerdem sehr hohem technischen Aufwand verknüpft. Der höchsttourige Bereich ist der Luftturbine vorbehalten.

Die Ideen Greens, Floerkes und Hillischers wurden, nachdem durch die präzise Fertigungstechnik, die leistungsfähigeren neuen Magnetwerkstoffe und die neuen Techniken in der Ansteuerung (Elektronik) die nötigen Voraussetzungen geschaffen waren, neu aufgegriffen. Es wurde ein praktisch im Handstück integrierter Kleinstmotor geschaffen. Dadurch entfällt das unschöne und mit den erwähnten Nachteilen behaftete Doriot-Gestänge. Die Kleinheit des Motors (Durchmesser 20 mm, Länge ca. 60 mm) erlaubt nur ca. 1/10 der Leistung des herkömmlichen Motors zu erreichen. Wie geschildert "schluckt" das Doriot-Gestänge ca. 80 % der Leistung. Die neue elektronische Motorversorgung zusammen mit einer automatischen Luftkühlung erlaubt es, den Motor in einem Leistungsbereich, der ausreichend ist, zu betreiben.⁵⁵⁾

Die Luftkühlung erfolgt mittels Druckluft, die doppelt, erst außen um den Dauermagneten, dann innen im Luftspalt zwischen Motor und Stator zurück, durch den Motor geleitet wird. Hierdurch wird erreicht, daß die Temperatur an der Motoroberfläche nicht über 40°C ansteigt.¹¹⁵⁾

Es handelt sich um einen gut regelbaren Gleichstrommotor bis 24 V mit einem Statordauermagnet. Der hohl-zylinderförmige Dauermagnet ist erst durch die neuen Magnetsintertechniken und Magnetwerkstoffe, die eine wesentlich größere Leistung



Mikromotor mit verschiedenen Handstücken
1966

Abb. 7

bei einer "starren" Magnetisierung bieten, möglich geworden. Es handelt sich um Werkstoffe, deren Polarisation auch in starken Gegenfeldern, wie sie z.B. durch die "Ankerrückwirkung" des Ankerfeldes entstehen, möglichst noch erhalten bleibt, d.h. es tritt keine unzulässige, irreversible Entmagnetisierung des Dauermagneten trotz genügend hoher Induktion des Magnetfeldes auf. Auch die Steuerelektronik verhindert, daß die Entmagnetisierung durch zu große Stromaufnahme zu hoch wird.

Durch diese Maßnahmen gelingt es, Leistungssteigerungen bis zu 500 % zu erreichen, d.h. die Drehzahlkonstanz bleibt also in sinnvollen Grenzen gewährleistet.

Der Motor ist über einen flexiblen Schlauch, der die elektrischen Motorzuführungen, Kühlluftanschluß und je einen Kanal für Wasser und Luft für die Spraykühlung enthält, mit dem Geräteschrank verbunden. Die Kleinstbohrmaschine wiegt ca. 120 g. Der Drehzahlbereich des Motors umfaßt 4000 bis 40 000 U/min. Mit drei verschiedenen Winkelstücken läßt sich ein Bereich von 600 bis 6000, von 4000 bis 40 000 und von 12 000 bis 120 000 U/min überstreichen.

Dieser Motor wurde Anfang der 60er Jahre entwickelt und 1965 auf der Dentalschau in Stuttgart von den Firmen Ritter AG / Kerr USA und Micro-Mega / Besancon, Frankreich, herausgebracht.



Vergleich: herkömmliche Bohrmaschine mit Doriot-Gestänge
Mikromotor mit Winkelhandstück
ab 1965

Abb. 8

Quellennachweis s. S. 105

Der Micro-Mega-Motor wird in Geräten der Firmen Quentin / Paris, Siemens Reiniger AG / Erlangen und S.S. White / Philadelphia (USA) eingebaut.⁴³⁾

Er löste nach über 70 Jahren den Elektro-Motor, der über Gestänge und Riemen das Handstück antrieb, und der im Prinzip sich in diesen Jahren nicht geändert hatte, ab. Daß es sich im Grunde hierbei um eine Rückkehr zu Green's Idee von 1856 handelt und alle "Zwischenlösungen" sich nur als nötige "Fehlentwicklungen" mangels Fortschritts der technischen Entwicklung darstellen, ist doch eigentlich symptomatisch für alle Erfinderideen, die ihrer Zeit voraus waren.

Nachdem das Doriot-Gestänge, das auch ästhetisch und psychologisch für den Patienten nicht vorteilhaft ist, durch den flexiblen, leichter zu handhabenden Kunststoffschlauch des Mikromotors abgelöst worden ist, kann man bereits ab 1965 die eindeutige Tendenz zum Zwei-Motoren-System feststellen:

1. für höchsttourige Arbeiten (300 000 - 400 000 U/min) die Luftturbine und
2. für den niedertourigen bis mittleren Bereich (600 - 120 000 U/min) den Mikromotor ⁴²⁾

Damit ist der langjährige Kampf Luftturbine oder Elektromotor eindeutig unentschieden, da beide Systeme in ihrer jetzigen Form ihre Berechtigung haben und in der Praxis nebeneinander eingesetzt werden.

V. 5. Andere Antriebe

a) Wasserantriebe

Allgemeines:

Vorausschicken möchte ich den Stand der Technik der Wasserturbinen zu Beginn des Einsatzes als Antrieb für die zahnärztlichen Bohrmaschinen.

J. Bernoulli erkannte 1738 die Reaktionswirkung der Wasserströmung, die über L. Euler 1754 (Leitapparat zur Erzeugung einer Drallströmung vor dem Laufrad) durch B. Fourneyra 1827 zur ersten brauchbaren Turbine, und zwar mit radial-zentrifugalem Durchfluß führte.¹⁴⁵⁾ 1850 schuf Ph.-H. de Girard eine Turbine, deren vom Wasser durchflossenes Laufrad vollständig von Luft umgeben war. L.A. Pelton konstruierte dann 1880 daraus die eigentlich heute verwendete Freistrahlturbine, bei der ein freier Wasserstrahl über eine Düse tangential auf den Radumfang trifft.

Nachdem Green's Versuch, die pneumatisch angetriebenen Bohrmaschinen einzuführen, durch die Morrison Fußtrittbohrmaschine wegen ihrer Unkompliziertheit und sichere Arbeitsweise vereitelt worden war, viele Zahnärzte aber die Befürchtungen wegen der schon sowieso einseitigen Arbeitshaltung zusätzlich belastende Fußtrittbewegung

äußerten, verfiel man auf das Antriebselement Wasserdruck, das ja als fließendes Wasser in den meisten Praxen vorhanden war. Sicher hat hier die Idee des Mühlrades Pate gestanden, denn ähnlich waren auch die ersten Ausführungen angeordnet.

1878 boten sowohl die Firma C. Ash & Sons / London, Niederlassung Berlin, als auch die Firma S. S. White / Philadelphia ^{105/106)} Wassermotoren als Ersatz für den Fußtritt der Morrison-Maschine an. Sie ähnelt auch stark der Morrison Bohrmaschine, die Maschine wird als klein und zierlich, dennoch von bedeutender Kraft beschrieben. Das Wasser wird durch einen Schlauch von der Wasserleitung in ein gekrümmtes Rohr geleitet, von dort fällt es auf ein kleines Rädchen, das von einer Hülse eingeschlossen ist. Das Wasser dreht dieses und wird mittels eines Rohres abgeleitet. Das Rädchen sitzt auf einer Welle, um welche das Triebband läuft, das den Mechanismus in Bewegung setzt.

Übrigens werden gleichzeitig 1878 von C. Ash & Sons Diamanten in Stahl gefaßt als Bohrer angeboten, die vorher an einer 1/4 Zoll starken Glasplatte ausprobiert wurden. Diese sind zwar teurer als die Stahlbohrer, haben aber eine wesentlich längere Standzeit.

Diese Wassermotoren besitzen bereits zur Regulierung der Geschwindigkeit eine Fußtrittregelung und ab 1880 107) ein Stopmotion-Handstück zum sofortigen Anhalten des Bohrers aus vollem Gang (ein Ring, der zwischen Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger ruht 4)). Dieses Stopmotion-Handstück kann auch an jede andere Maschine angebracht werden.

Da die gezeigten Entwicklungen Ende des 19. Jahrhunderts eine derartige Vielfalt an Maschinen und Instrumenten für den praktischen Zahnarzt herausbrachte, war natürlich die Auswahl für die Zahnärzte sehr schwierig, zumal die Berichte durch die Häufigkeit der Neuerscheinungen schnell überholt waren. Klagen über die hohen Kosten bei evtl. Fehlinvestitionen kamen allenthalben durch 16) und führten auch zu dem Vorschlag, eine "Versuchs- und Prüfungscommision" zu gründen, die neue zahnärztliche Apparate und Materialien begutachtet.

1880 wird von Dr. Blumen / Bamberg nach viermonatigem Gebrauch der Wassermotor-Bohrmaschine festgestellt, daß diese, wohl genauso wie die Morrisonsche Bohrmaschine den Handbohrer verdrängt habe, die Tretmaschine verdrängen werde. Wobei als Hauptvorzug aus seiner Sicht eben der ist, daß der "Operateur selbst nicht mehr als treibende Kraft" wirken muß. "Diese Wassermotormaschine sei nebenbei

auch leicht an jeden Ort in der Praxis zu bringen, sie verliere auch keinen Tropfen Wasser und kann mit dem Stopmotion-Handstück jederzeit angehalten und gestartet werden." Auch wird diese Maschine von ihm für technische Arbeiten und zum Abschleifen von Zähnen, Reinigen und Polieren benutzt. 1884 berichtet Dr. Flörke sen., daß er den Wassermotor zur Zufriedenheit seit 6 Jahren verwende ¹⁰⁸⁾, jedoch glaube, daß der neu von Professor Griscome / Washington vorgestellte elektrische Motor wegen des fehlenden Wasseranschlusses bei manchen Kollegen besser geeignet wäre. Dieser verdrängte dann auch in den nächsten Jahren den Wassermotor bzw. verschiedene Zahnärzte übersprangen diese Entwicklungsstufe und beschafften sich gleich den Elektromotor. So wurde es still um diesen einfachen Motor.

Erst 1949 wird aus der Not des ständigen Stromausfalls in Berlin durch das Dental-Depot Ehmann eine wassergetriebene Bohrmaschine vorgestellt, die augenscheinlich, wie von K. Manneberg ¹²⁷⁾ beschrieben, erhebliche Vorteile gegenüber den damaligen Elektromotoren besitzt: " Es handle sich um das Ei des Kolumbus, eine Sensation des Tages in zahnärztlichen Kreisen. Eine formschöne, durchkonstruierte Wasserturbine mit horizontal drehendem Turbinenrad. Alle mit Wasser in Berührung kommenden Teile seien aus hochwertigen rostsicheren Metallen bzw. sie enthalten abge-

kapselte Kugellager, etwa von der Größe einer elektrischen Bohrmaschine und einem Geschwindigkeitsregler mittels Fußdruck. Die Leistung sei besser als die des Elektromotors, die Tourenzahlen sind günstiger ohne Abfall der Kraftentfaltung sowie niedriger regelbar. Bei voller Tourenzahl ist der Verbrauch nur $0,5 \text{ m}^3$ in der Stunde. Auch das Geräusch sei angenehmer (sympathischer und nervenberuhigend). Nicht zuletzt ist der Anschaffungspreis nur $1/4$ einer elektrischen Bohrmaschine."

Aber auch diese viel gepriesene Maschine setzte sich nicht allgemein durch, da die Elektromotoren, wie in Abschnitt V. 3. gezeigt, ebenfalls ausgereifter und weiterentwickelt wurden.

Nur auf die Miniaturwassertrubine des National Bureau of Standards / Washington - als Erfinder werden John W. Kumpula und Dr. Robert J. Nelson genannt 1952 - sei noch hingewiesen. ⁶²⁾ Sie erreichte 60 000 U/min und war die Vorstufe der heute in Gebrauch befindlichen Luftturbine, da aus ihr 1956 die Forschungslaboratorien der US Navy eine kleine Luftturbine entwickelten. ¹¹⁾

b) Luft

George F. Green / Michigan ¹⁰³⁾ konstruierte 1866 eine pneumatische Bohrmaschine, die mittels eines fußgetretenen Blasebalgs über einen Gummischlauch eine zweiflügelige Windmühle antrieb, welche die Drehbewegung über Zahnräder an einen Drehstab, an dem der Bohrer fest angeschraubt war, weitergab. ^{59/148)}

Wegen des Geräusches, des Gewichtes des Handstückes (1 Pfund) und der leichten Verschmutzung setzte sich das Gerät nicht durch (und sicher auch wegen der doch geringen Bohrleistung). Es wurde aber von einigen Praktikern ⁶⁵⁾, besonders im Westen der USA, angewendet. Die Maschinen kosteten ca. 75 - 100 Dollar. Diese Maschine wird 1873 noch von Taft wegen ihrer verbesserten Geschwindigkeit gerühmt, fand aber in Deutschland keine größere Verbreitung, ³⁶⁾ obwohl deutsche Lieferanten, wie Pappenheim, Poulson usw. von der Zahnärzteschaft angeregt wurden, diese Maschine zu beschaffen.

G.F. Green muß überhaupt als sehr schöpferisch und rührig auf dem Dental-Maschinensektor genannt werden, da er nicht nur die erste elektromotorgetriebene Bohrmaschine und - wie oben erwähnt - den Vorläufer der Luftturbine bereits 1866 schuf, sondern zusammen mit Dr. Bonwill nach dem Studium des magnetischen Telegraphen auch einen elektromagnetischen Hammer 1872 ³⁷⁾ vorgestellt hat.

Daß die pneumatische Maschine von Green und auch andere, wie z.B. die luftkolbenbetriebene von Dr. Telschow in Berlin von 1890 ¹⁰⁴⁾ sich noch nicht durchsetzen konnte, lag, wie sich später zeigte, nicht an der grundsätzlichen Idee, sondern daran, daß die Präzision und die mechanische Genauigkeit sowie die benötigten technischen Bauelemente noch nicht vorhanden waren.

Dr. Telschow bezog seine Triebluft übrigens über den Umweg eines an die Wasserleitung angeschlossenen Wasserstrahlgebläses.

1937 ¹⁵²⁾ scheitert der Versuch bei Siemens, luftgetriebene Turbinen bis 100 000 U/min serienreif herzustellen. Im Versuch wurden 100 000 U/min erreicht. Die Versuche in den 30er Jahren fanden in Zusammenarbeit mit den Forschungslaboratorien I (Prof. Dr. Gerdien) der Siemens & Halske Med. statt. ¹⁶⁴⁾ Das damalige Scheitern ist wahrscheinlich auf verschiedene technische Unzulänglichkeiten, wie Kugellagerprobleme, Genauigkeiten, max. Drehzahl, Lebensdauer, Diamantbohrerbefestigung und Geräuscentwicklung (noch nicht mit Luftrückführung) zurückzuführen. Anm.: In diesen Jahren entstand aus der Firma Reiniger, Gebbert & Schall und Siemens & Halske (Med.) die Firma Siemens Reiniger Werke AG (1932), die 1969 in Siemens AG UB Med. Technik umbenannt wurde.

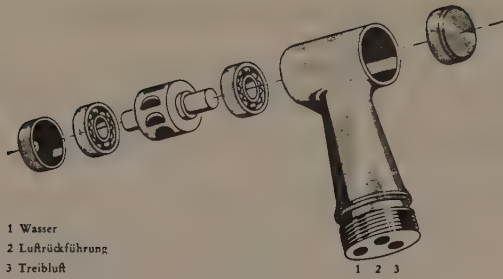
Verschiedene andere Entwicklungen erreichen 60 000 U/min: ¹⁸⁴⁾

1948 erreichte Ivar Norlen 140 000 U/min, aber die Luftturbine "Dentalair" verbraucht 80 l/min. ⁷⁸⁾

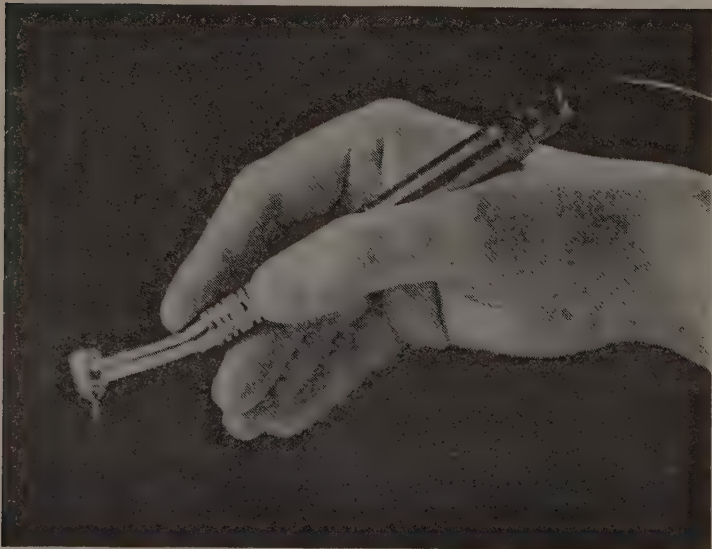
1956 wird in den Forschungslaboratorien der US Navy aus der Miniatur-Wasserturbine Nelsons von 1952 eine kleine Luftturbine. ⁹⁾ Diese wird vom Zahnarzt Victor Borden zum "Borden Airotor" weiterentwickelt (Leerlaufdrehzahl bis ca. 300 000 U/min). Dieser erste brauchbare Luftantrieb wird 1957 in den USA von S.S. White fabriziert in die Praxis eingeführt. ⁶³⁾

Siemens-Reiniger bringt im April 1958 ¹⁰⁾ eine Miniatur-luftturbine deutscher Konstruktion auf den Markt. Diese Turbine erreicht über 400 000 U/min und muß unter ständiger Benutzung von Kühlwasserspraystrahlen betrieben werden, um die Arbeitstemperatur am Zahn in physiologischen Grenzen zu halten. Das Kühlwasser wird vorgewärmt, so daß es am Zahn ca. 30 - 35°C erreicht.

Die Refraktärzeit der Zahnnerven beträgt ca. 1 ms, d.h. in dieser Zeit ist eine Schmerzweiterleitung über die Nervenfaser nicht gegeben. ⁹⁰⁾ Ab 1000 Hz oder 60 000 U/min (bei Annahme, daß nur eine Schneide den Zahn trifft) liegen die Vibrationsreize außerhalb des menschlichen Wahrnehmungsvermögens. Die hohe Drehzahl der Turbine liegt also weit darüber und ermöglicht ein schmerz-



Zahnärztliche Miniatur-Luftturbine,
schematisch



Luftturbine 1958

Abb. 9

ärmeres Bohren. Da die Turbine kugellagert (s. Abb. 9) ist und Kugellager bei derartigen Belastungen (Einzelkugel bis ca. 680 000 U/min, Fliehkraftbelastung bis zum 37000fachen des Eigengewichtes, Schmierprobleme und Unwucht) keine lange Lebensdauer aufweisen, muß der gesamte Turbinenkopf evtl. schon nach einigen Monaten gewechselt werden.¹⁶²⁾ Zur Geräuschkämpfung und geringeren Patientenbelastung werden 90 % der ölvernebelten (Schmierung der Kugellager) Antriebsluft wieder zurückgeführt. Der Luftbedarf der Sirona-Turbine liegt bei einem Betriebsdruck von 1,0 bis 2,5 atü bei 18 bis 35 l/min.⁵³⁾ Durch die hohen Drehzahlen lassen sich Schnittgeschwindigkeiten von ca. 1900 m/min erreichen. Als Vergleich: In der Metallbearbeitung werden bei Hartmetallwerkzeugen und der Bearbeitung von Stahl bis zu 300 m/min, bei Aluminium bis 2000 m/min als Idealwerte gefordert. Die Werkzeuggeschäfte müssen zur einwandfreien Klemmung und Lagerung (Friction-Grip) innerhalb einer Toleranz von $\pm 5 \mu$ liegen. Um trotz des Kühlsprays die Erwärmung der Zahnhartsubstanzen bei derartigen Drehzahlen in Grenzen zu halten, darf der Anpreßdruck im Vergleich zum "normaltourigen" Bohrer nur sehr klein sein, nämlich umgekehrt dem Verhältnis der Drehzahlen: z.B. bei 0,5 kg Anpreßdruck bei 3000 U/min bleiben theoretisch 5 g bei 300 000 U/min,¹⁴²⁾ d.h. es sollte ohne Druck und in Intervallen gearbeitet werden, da sonst trotz intensiver Kühlmittelzufuhr eine zu starke Erwärmung auftritt.

Eine Verbesserung der im Grunde heute noch nach dem gleichen Konzept arbeitenden Luftturbine erfolgte durch die Einführung der Luftlagerung statt der Kugellager Mitte der 60er Jahre bis 1971.¹³³⁾

c) Sonstige Präparationsmethoden

Nicht näher eingegangen sei hier auf die seit Archigenes bis heute verwendeten "Handverfahren" der Kavitätenpräparation mittels Schmelzmesser, Gingivalrandschräger oder Exkavatoren, die z.B. zur "Entgratung" (Brechung der Schmelzränder) oder bei der Entfernung erweichten Dentins in Pulpanähe nach wie vor notwendig sind.

Vor 1957 war also keine kommerzielle Bohrmaschine im Handel, die die absolute Refraktärzeit der Nerven (ca. 1 m sec) unterschritt und damit die Schmerzweiterleitung vermied.

Dies regte verschiedene Hersteller an, auf anderen Wegen als dem des rotierenden Instruments Lösungen zu finden, deren Reizfolge bei einer Frequenz = $\frac{1}{T}$ über 1000 Hz liegen.

Drei Verfahren machten hier von sich reden:¹²⁾

1. 1953 wurde von der Firma S.S. White ein Sandstrahlgebläse (Airdent Unit) vorgestellt,¹⁵⁴⁾ das durch Bestrahlen mit schneidenden Aluminiumoxyd-Körnchen die Kavitäten präpariert. Dieses Gerät wurde bereits 1950 von Dr. R.B. Black in Texas entwickelt.

Als Treibgas benutzte er Kohlensäure mit 75 atü, als abtragendes Mittel Aluminiumoxyd und Kalziumkarbonat¹⁶⁵⁾ (Preis ca. DM 8580,-). Betreiber dieses Gerätes sollen erst einen Kurs in den USA an einer Universität absolvieren.

2. 1955 entwickelt die amerikanische Firma Cavitron ein Gerät, das ebenfalls mit Aluminiumoxyd-Partikeln und Ultraschall arbeitet.

Ein Nickelstab wird durch eine Frequenz von 29 000 Hz zum Dehnen und Zusammenziehen mit einer Amplitude von 0,0003 - 0,0004 Zoll gebracht, mechanisch wird diese Amplitude auf ca. 0,035 mm vergrößert. Über eine Düse wird die milchige Flüssigkeit zur Arbeitsspitze gebracht, durch die Vibration schleift diese sich mit dem Bohrstaub in den Zahn.⁵²⁾

Bei der Demonstration wurde innerhalb kurzer Zeit ein 4 mm tiefes Loch (Abmaße wie Arbeitsspitze) in einen Glasaschenbecher geschliffen. Der Apparat kostete ca. 1800 Dollar.

Beide Strahlgeräte scheitern an der Beseitigung des Bohrstaubs und an der starken Abnutzung des Ultraschallschwingers und der Sandstrahldüse (Düsendurchmesser 0,45 mm,

Strahlgeschwindigkeit 300 m/s) sowie an den verwaschenen Konturen der Kavitätenpräparation. Als Vorteile gegenüber dem gebräuchlichen Bohrer wurden aufgeführt: ¹³⁴⁾

Vermeidung des im Knochen fortgeleiteten Geräusches
der (wahrnehmbaren) Vibration
der Druckanwendung
der Reibungswärme

Nachteile: Bestimmter Abstand und Winkel zum Zahn
Schwierigkeit der Tiefenkontrolle
nur an Stellen guter Einsicht
trockenes Operationsgebiet (Kofferdam)
Nachbarzahn schützen (Matrize)
Absaugprobleme des Bohrstaubes
Arbeitszeit
kostspieliges und umfangreiches Gerät

zusätzlich beim Cavitron:

schwieriges Auswechseln des Werkzeuges
jedoch Vorteil, daß eine Verletzung
von Weichteilen nicht möglich ist

Ein 1958 erfolgter Vergleich ⁵⁰⁾ zeigt folgende Bearbeitungsfrequenzen: Bohrer 6000 U/min = 100 Hz;
Diamant 9000 U/min = 150 Hz; Ultraschall 29 000 Hz,
Luftturbine 300 000 U/min = 5000 Hz; Page-Chayes

High Speed Contra Winkel-Handstück (Rollenübersetzung)
bis 200 000 U/min = 3333 Hz.

Ultraschallgeräte, auch mit piezo-elektrischer Schall-
quelle werden heute zur Zahnsteinentfernung und Abnahme
von Kronen und Brücken verwendet.

3. Das dritte Verfahren, das nicht auf einem motorgetrie-
benen, rotierenden System beruht, ist die Laser-Präpa-
ration.

Kurz zur Technik-Geschichte:

Das Wort Laser kommt aus dem Amerikanischen und ist
aus den Anfangsbuchstaben von Light Amplification by
stimulated Emission of Radiation entstanden (Licht-
verstärkung durch Anregung der Strahlenemission).¹²⁴⁾

- 1958 Schawlow, Townes übertragen das Prinzip
der Quantengeneratoren von Mikrowellen
auf das optische Gebiet
- 1960 Rubinlaser (Schawlow), Gaslaser (Javan)
- 1962 Halbleiterlaser (drittes Grundprinzip von Lasern)
- ab 1964 Erzeugung industrieller Laser

Das Laserlicht ist eine monochromatische, kohärente
Strahlung hoher Energiedichte, für die die Reflexions-
und Resorptionsgesetze der Optik gelten (z.B. dunkle

Körper resorbieren stärker als helle - Anwendung:
dunkles kariöses Dentin - heller Schmelz)

Als Folge der extremen Energiedichte ergeben sich
zur Anwendung ¹²⁰⁾:

1. Wärmewirkungen (Schmelzen und Verdampfen
von Materie)
2. Druckwirkungen (explosionsartige Wärme-
dehnung, Lichtdruck)
3. chemische Reaktionen

In der Technik werden mit Laser Diamanten gebohrt,
Nachrichten hoher Informationsdichte ausgetauscht,
kosmische Entfernungsmessungen vorgenommen und orga-
nische sowie metallische Werkstoffe geschweißt.¹²⁵⁾

Bereits ab 1964 lag es daher nahe, die Anwendungsmög-
lichkeiten in der Zahnheilkunde zu untersuchen.

Rückblicke von 1971 ¹⁷⁸⁾ und 1972 ³⁾ berichteten zwar
u.a. optimistisch über experimentelle Erfolge 1964 -
1967, wie Auf- und Einschmelzen von Zahnfüllungsmate-
rialien und von der Versiegelung des Schmelzes als Ka-
riesprophylaxe. Aber diese positiven Berichte halten
sich mit den Mißerfolgen, wie starke Beschädigungen an
Zahnhartsubstanzen ^{20/89/121)} (Risse, Verkohlungen und
andere pathologische Veränderungen, wie Pulpenschädi-
gungen ¹⁾) die Waage.⁵⁶⁾

1974 gibt Prof. Dr. Peter Lenz eine ausführliche Zusammenfassung ¹²²⁾ über den erreichten Stand in der Lasertechnik und gliedert seine Untersuchung in acht mögliche Anwendungsbereiche:

1. Versiegeln der Schmelzoberflächen
2. Präparationen
3. Wurzelbehandlungen
4. Entfernen von Belägen und Zahnstein
5. Entfernen alter Füllungen
6. Mikrochirurgie der Mundhöhle
7. Löten
8. Einsatz neuer Füllmaterialien

Das Ergebnis: Alle Studien sind noch im experimentellen Stadium, nur das Löten scheint bis zur praktischen Anwendung gereift zu sein.

1976 erschienene Untersuchungen aus Zagreb ¹⁵⁰⁾ und Freiburg ¹²³⁾ haben zwar eine positivere Tendenz (Versuche an anatomischen Präparaten: Der Zahnschmelz konnte scharf lokalisiert verflüssigt und es konnten genaue Schnitte durchgeführt werden, Affenexperimente mit 60 J/cm^2 Energiedichte ergaben keine Schädigung von Pulpa, Gingiva, Lippe oder Zunge), jedoch kann fest-

gestellt werden, daß bis heute die Probleme der Laserpräparation

verwaschene Schnittkanten

schlechte Dosierbarkeit der hohen Impulsenergie

Schmelzsprünge in der Nachbarschaft der Kavitäten durch den hohen Temperaturgradienten

noch nicht gelöst sind und es noch einiger Zeit und größerem Entwicklungsaufwand bedarf, eine praxisgerechte, einsatzbereite Lösung zu entwickeln. Es ist heute noch nicht abzusehen, ob und wann dies erreicht werden kann.⁸³⁾

Sicher ist noch mancher technische Weg (z.B. beim Elektromotor elektronische Kommutierung eines Statordrehfeldes mit Rotor-Dauermagnet) nicht ausgeschöpft, obwohl die heutige Technik (Mikromotor und Turbine) gegenüber früher (mit Fußtrittbohrmaschinen oder auch noch Wasserantrieb bzw. älteren elektromotorbetriebenen Maschinen arbeitenden Zahnärzten) überhaupt nicht vorstellbare Arbeitserleichterungen und Präparationsmöglichkeiten bietet.

Heute überwiegend verwendete Fabrikate:

Als Antriebs- und Übertragungsarbeitsmittel werden im ZI-Bereich (Zentralinstitut für zahnärztliche Ergonomie)

Sirona-Motoren (Mikromotor) mit KaVo-, Micro-Mega- und W. & H-Hand- und Winkelstücken sowie die KaVo-Kugellagerturbine vom Typ Supertorque benutzt. (Auswertung anschließend des XX. JDS 1977, gesammelte Informationen von 27 Herstellern aus 11 Ländern.) ⁹¹⁾

VI. Schlußbetrachtung

Ein Vergleich der eingangs gesteckten Ziele an die technische Entwicklung mit dem heutigen Stand zeigt zwar, daß viele Forderungen dahingehend erfüllt worden sind, daß das Präparieren des Zahnes ein unvorhersehbares Maß leichter an körperlicher Arbeit geworden ist, in verschiedenen Fällen erst ermöglicht wurde und dem Zahnarzt ein großartiges Instrumentarium zum schnellen, sicheren und genauen Präparieren geschaffen wurde. Natürlich sind heute noch nicht alle angestrebten Ziele zur Gänze verwirklicht, aber durch den technischen Fortschritt sind doch erhebliche Verbesserungen erzielt worden.

Augenfällig wird dies beim Vergleich der Empfehlung zur Arbeitshaltung 1873 (s. Kap. V. 2.) ... um das Hin- und Herschleudern des Bohrer zu vermeiden, Halten mit beiden Händen ... und 1970: ... Füllfederhaltung bei druckloser Präparation, Mikromotor und Handstück zwischen Daumen und

Zeigefinger ...

Die Forderungen, wie "ohne störendes Anschlußkabel", "Übersichtlichkeit" oder "geringe Geräuscentwicklung" sind zumindest soweit gelöst, daß nur bei extremen Situationen (d.h. in Ausnahmen) Beeinträchtigungen auftreten.

Allerdings haben die neuen Bohrmaschinen auch Probleme anderer Art entstehen lassen, die bei den früheren Geräten nicht auftraten. Im Verhältnis jedoch zu den Erleichterungen für Patient und Behandler sind diese zwar als sekundär, jedoch nicht als vernachlässigbar zu bezeichnen.

Es sind dies vor allem die durch die neue Bohrmaschinengeneration und durch die modernen Werkzeuge (Hartmetall und Diamantinstrumente) möglich gewordenen Schnittgeschwindigkeiten sowie die hieraus entstandenen Probleme der Wärmeentwicklung am Zahn. Eine größere Schädigung des gesunden Zahnes läßt sich neben der richtigen Handhabung nur durch die starke (Spray-) Kühlung vermeiden.⁴⁴⁾ Der hierbei entstehende Spraynebel schafft wiederum Probleme, wie die Möglichkeit der Keimverschleppung aus der Mundhöhle⁵⁾ und Verschmutzung des zahnärztlichen Arbeitsplatzes (aseptische Kautelen!).¹¹⁸⁾ Es müssen sowohl aktive Schutzmaßnahmen, wie

Nebelabsaugschrank ¹¹⁹⁾ als auch passive, wie Maske, Schutzschild, Raumluft- und Inventardesinfektion ⁵⁾ angewandt werden, auch wenn Untersuchungen ^{45/46} zum Teil über negative Ergebnisse der Keimaussaat durch höchsttouriges Präparieren berichten, da bei Verbesserung der Kühlung (Zweifachspray, Dreifachspray, optimale Luft- und Wasseranteile) auch eine geringere Bakterienvernichtung durch "Glühprozeß", hochfrequente Erschütterung und Zerspanung ⁴⁵⁾ angenommen werden kann.

Zu den genannten Höchstdrehzahlen muß noch bemerkt werden, daß je nach verwendetem Präparationsinstrument die Nenndrehzahl (Leerlaufdrehzahl) durchschnittlich um 20 % bis maximal um 50 % durch die Luftreibung herabgemindert werden kann.⁴⁷⁾

Trotzdem kann insgesamt gesehen behauptet werden, daß die Entwicklung der zahnärztlichen Bohrmaschine in den letzten einhundert Jahren einen großen Sprung in Richtung des hauptsächlichen Ziels, nämlich dem der schonenden und exakten Zahnpräparation in der Zahnheilkunde getan hat.

VII. 1. Literatur-Verzeichnis

Nr.		Seite
	Adrian J.C., J.L. Bernier u. W.G. Spragne Laser and the dental pulp J. Amer. dent. Ass. <u>83</u> (1971), 113	84
1		
	AEG 50 Jahre AEG Als Manuskript gedruckt AEG Abtlg. Presse-, Lehrmittel- u. Verlagsdienst Berlin, 1956 S. 262	35
2		
	Allgöwer B., Der Einsatz von Laser- Strahlen in der Zahnheilkunde. Eine Systemanalyse Med. Diss. Freiburg i. Br., 1972	84
3		
	C. Ash & Sons / Berlin, Katalog von 1880 S. 132 Fig. 10	72
4		
	Bauer, E. u. Portele K., Uni-Zahnklinik Wien Infektionsgefahr und Schutzmaßnahmen bei der Präparation mit Turbinen- geräten Zahnärztl. Prax. <u>17</u> (1966), 91	88/89
5		
	Behne E.A., Sonderdruck aus Verhandlungen des XX. Internationalen Kongresses für Geschichte der Medizin Berlin 22. - 27.8.1966 Georg Olms Verlag Hildesheim, 1968	
6	S. 564	17
7	S. 564	26
8	S. 567	56
9	S. 569	77
10	S. 569	77
11	S. 569	74
12	S. 568	80

Nr.		Seite
	Blume A. Berlin, Verbesserte Fabrikate Dtsch. Vjschr. Zahnheilk.	
13	17 (1877), 331	23
14	16 (1876), 412	25
15	16 (1876), 412	25
	Blumm, Dr. / Bamberg, Der Schwingstuhl und die Bohrmaschine mit Wassermotor Dtsch. Vjschr. Zahnheilk.	
16	21 (1881), 24	72
	Böhm, Herta, Entwicklung der Bohrer, Bohr- maschinen und Schleifsteinchen Inaug. Diss. Hamburg, 1935	
17	S. 2	11
18	S. 2	13
19	S. 5	13
	Bojanov B., N. Popor u. E. Raiciner (Bulgarien), Wirkung des Laser- Strahles auf die Zahnhartgewebe in Stomatologija (Sofia)	
20	56 (1974), 227	84
	Brockhaus Enzyklopädie Wiesbaden 1968	
21	5. Bd. Elektrizität	31
	Calmann, J. Loders Journal für die Chirurgie, Geburtshilfe und gerichtlichen Arzneimittel	
22	Jena 1806 4. Bd.	15
	Coghlan, J. Dtsch. Vjschr. Zahnheilk.	
23	3 (1863), 49	18
	Dettmar, Georg Die Entwicklung der Starkstrom- technik in Deutschland Bd. 1 bis 1890; ETZ-Verlag GmbH Berlin/Charlottenburg 4/1940	
24	S. 10	32
25	S. 22	33
26	S. 215	42
27	S. 22	30
28	S. 72	55
29	S. 90	31
30	S. 102	31

Nr.		Seite
	Dtsch. Mschr. Zahnheilk. Walkhoff, Otto, Braunschweig, Eine neue elektrische Bohr- maschine und ihr Betrieb	
31	<u>12</u> (1894), 249	34
	Dtsch. Vjschr. Zahnheilk.	
32	<u>16</u> (1876), 431	25
33	<u>16</u> (1876), 432	23
34	<u>16</u> (1876), 456	25
35	<u>17</u> (1877), 180	25
36	<u>13</u> (1873), 453	75
37	<u>12</u> (1872), 456	75
38	<u>21</u> (1881), 133	27
	Diezemann, Lenzkirch, Aus der Ge- schichte der zahnärztl. Bohrmaschine Zahnärztl. Welt	
39	<u>9</u> (1954), 2/43-49	20
	Dorn, Rudolf / Saargemünd Die Elektrizität und ihre Verwen- dung in der Zahnheilkunde Verlag von Georg Thieme Leipzig, 1898	
40	S. 99	33
41	S. 101	54
	Drum, Walter / Berlin Ergonomie XX Elektromotoren und Luftmotoren	
42	Die Quintessenz <u>17</u> (1966) H 4, 101	69
	Eichner, K. Dental-Schau 1965 Dtsch. zahnärztl. Z.	
43	<u>21</u> (1966), 244	69
44	Zahnärztl. Prax. <u>17</u> (1966), 91 Frage der Pulpenveränderung bei höchsttouriger Präparation	88
45	Dtsch. zahnärztl. Z. <u>15</u> (1960), 192	89
46	Dtsch. zahnärztl. Z. <u>18</u> (1963), 113	89
47	Zahnärztl. Rdsch. <u>74</u> (1965), 125 Untersuchungen über den Einfluß der Luftreibung von Präp.-Instrumenten auf die Drehzahl der Luftturbine	89

Nr.		Seite
	Enzyklopädie der Technikgeschichte DVA-Stuttgart 1967	
48	S. 197	39
	Fauchard, Pierre	
	"Le Chirurgien Dentiste" 1733	
49	S. 240 (nach Hoffmann-Axthelm, s. Nr. 80)	13
	Fischer, C.-H., ZÄ Klinik Uni Göttingen	
	Schmerzloses Bohren mit hohen Touren?	
	Die Umschau / Frankfurt (1958)	
50	H 20, 626	82
	Floerke sen.	
	Vorführung des "Floerke"-Motors	
	Korrespondenzbl. f. Zahnärzte	
51	<u>15</u> (1886), 260	48
	Freivogel, Hans	
	Ein kurzer Bericht über die	
	Demonstration des "Cavitron"-	
	Ultraschall-Geräts zur Kavi-	
	tätenpräparation	
	Dtsch. zahnärztl. Z.	
52	<u>10</u> (1955), 1255	81
	Fuhr, K. / Mainz	
	Die klinische Erprobung der	
	Siemens-Sirona-Versuchsturbine	
	Sonderdruck aus Heft 22	
53	Zahnärztl. Welt <u>59</u> (1958)	79
	Garnier, Marcel	
	(Micro-Mega) u. Eugen Hohmann (SRW)	
	Die Elektro-Kleinstbohrmaschine,	
	ein neuer Nieder- und Mitteltouren-	
	Antrieb; SRW-Archiv (1962)	
54	S. 2	58
55	S. 4	65
	Geisbe, H.	
	Verwendungsmöglichkeiten von Laser-	
	strahlen in der Therapie	
56	Med. Welt (Stuttgart) <u>18</u> (1967), 2881	84

Nr.		Seite
	Gersbach, S. Der Piccolo-Motor für zahn- ärztl. Bohrmaschinen Schweiz. Vjschr. Zahnheilk.	
57	<u>28</u> (1918), 203	58
	Glenner, R.A. J. Amer. dent. Ass. <u>86</u> (1974),	
58	<u>716</u>	15
59	718	75
60	718	17
61	716	18
62	725	74
63	725	77
64	714	11
65	718	75
66	719	46
67	720	47
68	718	28
	Goldmann, Jos. Die historische Entwicklung der Handbohrer und Bohrmaschinen Inaug. Diss. Göttingen, 1929	
69	S. 7	26
70	S. 9	13
71	S. 9	26
72	S. 11	26
	Hafner, A., D.D.S. Zürich Wechselstrommotor für zahn- ärztl. Bohrmaschinen Schweiz. Vjschr. Zahnheilk.	
	<u>5</u> (1895),	
73	<u>29</u>	32/55
74	32	56
	Harringtons "Erado" Korrespondenzbl. f. Zahnärzte	
75	<u>1</u> (1872), 14	15
	Haupt, Else Das Leben des Hofzahnarztes Dr. Friedrich Schneider Med. Diss. Düsseldorf, 1938	
76		50

Nr.		Seite
	Hillischer, H.Th. Elektromotorischer Handbohrer für zahnärztl. Operationen Korrespondenzbl. f. Zahnärzte	
77	<u>13</u> (1884), 80	47
	Hoffmann-Axthelm, Walter Die Geschichte der ZHK Buch- u. Zeitschriften-Verlag "Die Quintessenz" Berlin, 1973	
78	S. 299	77
79	S. 299	57
80	S. 288	14
81	S. 292	18
82	S. 295	25
	Hohmann, E. Entwicklungsabtlg. Siemens UB-Med Bensheim, Gespräch v. 29.5.1979	
83		86
	Jürgensmeyer, Wilhelm Die Wälzlager Verlag von Julius Springer Berlin, 1937	
84	S. 69	40
85	S. 469	38
86	S. 5	39
87	S. 2	39
88	S. 53	40
	Kantola, S., E. Laine u. T. Tarna Laser - induced effects on tooth structure Acta odont. scand	
89	<u>31</u> (1973), 369	84
	Keidel, Wolf O. / Erlangen Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, Thieme-Verlag Stuttgart, 1975, 14-16	
90		77
	Kimmel, Karlheinz / Koblenz Die zahnärztl. Präparationstechnik Arbeitsmittel als Grundlage einer rationellen Methodik Dtsch. Zahnärztekalendar München, 1978	
91	S. 173	87

Nr.		Seite
	Kleinmann	
	"Aus der Praxis"	
	Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. <u>17</u> (1877),	
92	240	26
93	243	26
94	244	26
95	247	27
	Klemm, Friedrich	
	Technik, eine Geschichte	
	ihrer Probleme	
	Verlag Karl Alber,	
	Freiburg/München, 1954	
96	S. 361	30
	Klinckowstroem, Carl Graf v.	
	Knaurs Geschichte der Technik	
	Droemersch Verlagsanstalt	
	Th. Knaur Nachf. München/Zürich, 1959	
97	S. 277	42
98	S. 279	43
99	S. 281	31
	Korrespondenzbl. f. Zahnärzte	
100	<u>10</u> (1881), 227	28
101	<u>11</u> (1882), 74	28
102	<u>13</u> (1884), 255	28
103	<u>22</u> (1893), 190	75
104	<u>20</u> (1891), 73	76
105	<u>7</u> (1878), 309	71
106	<u>7</u> (1878), 222	71
107	<u>9</u> (1880), 325	72
108	<u>13</u> (1884), 319	73
109	<u>5</u> (1876), 178	46
110	<u>15</u> (1886), 259	48
111	<u>17</u> (1888), 258	51
112	<u>56</u> (1932), 180	62
	Krause, W.	
	Geschichte des Zahnbohrers und	
	der Zahnfeile bis zur Erfindung	
	der Fußbohrmaschine	
113	Med. Diss. Leipzig, 1954	3

Nr.		Seite
	Krestel, E. u. E. Hohmann Elektronisch gesteuerter Den- talmotor (Siemens UB-Med) Sonderdruck Electro Medica 3 (1969)	
114	Geschichtliche Entwicklung	58
115	Das Sirona-Motorsystem	65
	Kröncke, A., Kimmerle, G. / Tübingen Über die Härte des kavitätennahen Zahnschmelzes nach konventioneller und höchsttouriger Präparation Dtsch. zahnärztl. Z. <u>17</u> (1962),	
116	1158	13
117	1160	64
	Kröncke, A. u. Zweigart, K. / Tübingen Untersuchungen über den Spray- nebel und dessen Beseitigung Dtsch. zahnärztl. Z. <u>19</u> (1964),	
118	328	88
119	331	89
	Lenz, E. Untersuchungen über die Verände- rungen von Zahnhartgeweben und Füllwerkstoffen durch Strahlen von Festkörper- und Gaslasern, Dtsch. Stomat. <u>21</u> (1971),	
120	406	84
121	413	84
	Lenz, Peter Der Einsatz von Laser- strahlen in der Zahn- heilkunde Zahnärztl. Mitt. <u>64</u> (1974), 112	84
	Lenz, P., Gilde, H. u. Pyttel, U.-J. Reaktionen der Zahngewebe auf die Laserbestrahlung Dtsch. zahnärztl. Z. <u>31</u> (1976), 884	85
	Lhotsky, B. (Prag) Was bringt die Laserbestrahlung Zahnärztl. Welt <u>67</u> (1966),	
124	846	83
125	849	84

Nr.		Seite
	Lurje (SU) Technologie der Wälz- lagerherstellung VEB Verlag Technik, Berlin, 1953 S. 11	39
126		
	Manneberg, K. Bohrmaschine mit Wasserantrieb Zahnärztl. Welt 4 (1949), 216	73
127		
	Mayer, G. (Zahnarzt in Augsburg) Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. 14 (1874), 40 Einsetzen v. Stiftz. nebst Beschreibung einer verbes- serten Bohrmaschine S. 43	18
128		
	Megede, Werner zur Am Wege zur Automation Verlag: Siemens AG Berlin/München, 1974	
129	S. 115	32
130	S. 13	32
131	S. 62	36
132	S. 110	37
	Merk, H., Tübingen Internat. Dentalschau 15. - 19. Sept. 1965 in Stuttgart Zahnärztl. Rdsch. 74 (1965), 439 Luftlagerprinzip bei Luftmotor "Air Orbit"	80
133		
	Morrant, G.A. u. Stephens, R.R., London Aident-Unit u. Cavitrongerät (Entwicklung u. Anwendung moderner Methoden der Kavi- tätenpräparation Teil II) Die Quintessenz 11 (1960), 49, 47	82
134		
	Morrison, James Beall / St. Louis Dr. Morrisons Bohrmaschine Korrespondenzbl. f. Zahnärzte 2 (1873), 117 Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. 13 (1873), 230 Korrespondenzbl. f. Zahnärzte 8 (1879), 58	20 21 23
135		
136		
137		

Nr.		Seite
	Münch, F.C. / Bamberg	
	Auf hohen Touren	
138	Zahnärztl. Mitt. <u>45</u> (1957), 431	57
139	dto.	63
	Nehmer, Henry / Berlin	
	Electrisch betriebene Zahn-	
	bohrvorrichtung	
	pat. v. 24.4.1887	
	Deutsche Reichs-Patente	
	No. 43198 Korrespondenzbl. f. Zahnärzte	
140	<u>17</u> (1888), 374	48
	Odont. Blätt.	
	(1897/98), Nr. 19	
	4. praktische Notizen	
141	elektr. Bohrmaschinen	56
	Pätzold, J., E.A. Behne, W. Seegers	
	Zur Turbinentechnik in der	
	Zahnheilkunde (Sonderdruck)	
142	Zahnärztl. Welt <u>60</u> (1959) Nr. 14	79
	Pankiewiez, Z.	
	Vom Bohrer des Archigenes	
	bis zum Turbinenbohrgerät	
	Czas. stomat. Warszawa	
143	<u>16</u> (1963), 683	3
	Parker, G.T. D.D.S.	
	Burring-Engine-Injector	
	Dtsch. Vjschr. Zahnheilk.	
144	<u>15</u> (1875), 495	23
	Pfenninger, Albert	
	Wasserkraftmaschinen	
	Technik II	
	v. Prof. Dr. W. Hälgl	
	Prof. Dr. W. Träubel	
	Fischerbücherei Zürich, 1963	
145	S. 283	70

Nr.		Seite
	Poppe, Johann Heinrich Moritz von Documenta Technica Geschichte aller Erfindungen und Entdeckungen im Bereiche der Ge- werbe, Künste und Wissenschaften von der frühesten Zeit bis auf unsere Tage Georg Olms Verlag Hildesheim, 1972 Nachdruck der Ausgabe Frankfurt, 1847 S. 490	30
146		
	Proskauer, Curt; Witt, Fritz H. Bildgeschichte der Zahnheilkunde Zeugnisse aus 5 Jahrtausenden Verlag M. Du Mont Schauberg Köln, 1962 Pierre Fauchard (1686 - 1761) "Le chirurgien dentiste on traité des dents"	13
147		
	Rauschenbach Die zahnärztliche Bohrmaschine Dtsch. Mschr. Zahnheilk. <u>16</u> (1898), 29	3/75
148		
149	32	17/44
	Rajić, Z., Nikolić, V. und Hancević, J. Die Möglichkeiten des ND-YAG Lasermessers in der Stomatologie Acta stomat. croatica <u>10</u> (1976), 10	85
150		
	Reiniger, Gebbert & Schall AG, Erlangen Firmenprospekt v. 1890 Triumph-Bohrmaschinen	56
151		
152	SRW-Archiv, Aktenn. Prof. Gerdien v. 23.1.39 und Prospekt Rheinmetall, Sömmerda bei Erfurt, 1932	39/76
	Rev. stomat. Paris <u>64</u> (1963), 657	3
153		

Nr.		Seite
	Ritter	
154	Sandstrahlgebläse ersetzt Zahnbohrer Zahntechnik Nr. 6 (1951), 9	80
	Sauer, C.	
155	Eine neue Taucherbatterie mit geruchloser Chromsäure- Füllung zur Galvanocaustik Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. <u>17</u> (1877), 256	33
	Schäfer & Montanus / Frankfurt a. M.	
156	Patent N. 37086 Korrespondenzbl. f. Zahnärzte <u>16</u> (1887), 96	48
	Schlenker	
157	Bericht über die Versammlung des Zentralvereins dt. Zahnärzte 2. 8. 1886 in Dresden Dtsch. Mschr. Zahnheilk. <u>4</u> (1886), 436	47
	Schneider, Friedrich / Erlangen	
158	Über die Zweckmäßigkeit der elektr. u. Wassermotoren Votr. anläßl. Jahresver- sammlung Central-Verein dtsch. Zahnärzte 1887 Dtsch. Mschr. Zahnheilk. <u>5</u> (1887), 387	50
	Schu, Fr. / Köln-Marienburg	
159	Die Entwicklung der Bohrer u. Bohrmaschine Dtsch. zahnärztl. Wschr. <u>40</u> (1937), 1062	3/11
160	Abb. 16	23
	Schweiz. Vjschr. Zahnheilk.	
161	<u>14</u> (1904), 164 Wasserturb. zur Erzeugung elektr. Kraft	34

Nr.		Seite
162	Siede, Klaus (Siemens-Reiniger) So arbeitet eine Dentalturbine Sonderdruck aus SRW-Nachrichten H 12 (1960)	79
163	Siedentap, G., Zahnarzt Bonn a. Rh. Über die Bohrmaschine und den pat. pneumatischen Winkelhammer von C. Rauhe / Düsseldorf Dtsch. Vjschr. Zahnheilk. <u>21</u> (1881), 131	27
164	Siemens AG UB Med, Technik Archiv, Palmsanlage 6, Erlangen, Aktenn. aus der Entwicklung v. 21.11.1936	76
165	Archiv, Schreiben der Firma Ubert & Co. Berlin v. 3.4.1952 + Anlage Ausschnitt aus "Ufer"	81
166	Archiv, Aktenn.: Wärme- und Strommessungen am Triumph-Motor 1927	59
167	Sternfeld, Alfred / München Vortrag, Jahresversammlung Verein bayer. Zahnärzte, München 17.3.1889 Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 7 (1889), 161 Über die praktische Bedeutung der Elektrizität für die Zahnheilk. G.F. Green aus	46
168	1. Dexter History of Dental and Oral Science in America, Philadelphia 1876 p. 119 2. Litch W.F. American System of Dentistry Philadelphia 1887 Vol II. p 36	17/44
169	Störig, Hans Joachim Kleine Weltgeschichte der Wissenschaft W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1957 S. 492	31
170	S. 493	31

Nr.		Seite
	Sworykin, A.A. u.a. Geschichte der Technik VEB Fachbuchhandlung Leipzig, 1967	
171	S. 163	36
172	S. 165	36
173	S. 165	36
174	S. 165	37
	Unger, Hans Wälzlager-Handbuch Bd. 1 VEB Verlag Technik Berlin, 1957	
175	S. 10	40
176	S. 11	40
177	S. 13	40
	Vahl, J. Der Laser und seine bisherige Anwendung in der Zahnmedizin Hippokrates <u>42</u> (1971), 488	
178		84
	Verschiedene Autoren: Die berühmten Erfinder, Physiker und Ingenieure Aulis Verlag Deubner & Co. KG Köln, 1968	
179	S. 179	43/31
180	S. 387	36
181	S. 429	37
	Walkhoff, Otto - Hess Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde 6. Aufl. Joh. Ambrosius Barth Verlag Leipzig, 1921	
182	S. 7	26
183	Dtsch. Mschr. Zahnheilk. <u>12</u> (1894), 251	54
	Weerda, Geerd-Hilko Die geschichtliche Entwicklung des zahnärztlichen Arbeitsplatzes aus Zahn-, Mund- u. Kieferklinik Erlangen	
184	S. 29	3/77
185	S. 102	2

Nr.		Seite
186	Weinberger, B.W. An Introduction to the History of Dentistry, St. Louis, 1948	14
187	White's Bohrmaschine Korrespondenzbl. f. Zahnärzte <u>4</u> (1875), 239	22
188	Zahnärztl. Rdsch. <u>58</u> (1949), 46	28
189	<u>35</u> (1926), 522	60
190	<u>31</u> (1922), 407	59
191	<u>34</u> (1925), 450	59
192	<u>41</u> (1932), 1667	62
193	Zuter, Gebr., Frankfurt a. M. Patent Nr. 32242 Korrespondenzbl. f. Zahnärzte <u>15</u> (1886), 84	47

VII. 2. Abbildungsnachweis

Nr.		Seite
1	Aus Proskauer-Witt Bildgeschichte der ZHK Zeugnisse aus 5 Jahrtausenden Verlag M. Du Mont Schauberg Köln 1962	12
2	Morrisons Patent 1871 aus s. Nr. 1	19
3	Inserat v. 1875 Deutsche Vierteljahresschrift f. ZHK H 4	24
4	Hand- u. Winkelstücke (Inserat 1893) aus Hoffmann-Axthelm S. 295	29
5	a) Reiniger elektr. BM 1887 b) offener, ungeschützter E-Motor um 1890 Siemens UB Med Archiv Erlangen / Palmsanlage 6	49
6	Gekapselte BM am Wandarm mit Doriot-Gestänge um 1927 s. Bild Nr. 5	61
7	Mikromotor mit verschiedenen Handstücken 1966 aus Quintessenz H 4 Apr. 1966 Ref. 2898	66
8	Größenvergleich: herkömmliche BM mit Doriot-Gestänge - Mikromotor s. Bild Nr. 5	68
9	a) Explosionsbild Luftturbine 1958 b) Luftturbine 1958 s. Bild Nr. 5	78

Herrn Professor Dr. Adolf Kröncke danke ich für die Überlassung des Themas, für seine Unterstützung bei der Unterlagenbeschaffung und seine wertvolle Hilfe bei der Beurteilung über die Richtigkeit und Wertigkeit der geschichtlichen Aussagen sowie den Hinweisen über berührende und zu berücksichtigende Teilgebiete.

Lebenslauf

Am 26. März 1941 als zweiter Sohn des Kaufmanns Eduard Reich und der Geschäftsfrau Wassilissa Reich, geb. Glinka, in Ostrowo an der Warthe geboren.

Besuch der Volksschule in Kulmbach (Ofr.) von 1947 bis 1954. Anschließend Mittlere Reife 1957 an der staatlichen Realschule in Kulmbach.

1957 bis März 1961 Lehre als Feinmechaniker bei Siemens-Reiniger in Erlangen. Ableistung des Wehrdienstes bis 1963 (Lt. d. R.). Von Sept. 1963 bis Aug. 1966 Ingenieurstudium für Feinwerktechnik an der Fachhochschule in Heilbronn (Neckar).

Fertigungsingenieur für Flugnavigationsgeräte in Überlingen bis Juni 1967. 1967 bis Sept. 1968 Entwicklungsgruppenleiter in der Camera- und Geräteentwicklung bei der Firma Kodak AG in Stuttgart. 1968/69 Ausbildung zum Gewerbelehrer an der Berufspädagogischen Hochschule in Stuttgart.

1.10.1969 bis 30.9.1973 technischer und kaufmännischer Betriebsleiter eines feinmechanisch-elektronischen Fertigungsbetriebes in Kulmbach.

1.10.1973 bis 30.9.1974 Technischer Leiter eines meßtechnischen Betriebes in Erlangen.

Seit WS 1974/75 Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Familienstand: Verheiratet seit 6.6.1966 mit der Sekretärin Karin Reich, geb. Scholz, ein Sohn 10 Jahre alt.

Staatsexamen vom 27.7.1979 bis 3.12.1979

Approbation am 13.12.1979

Promotion am 28.1.1980

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197